

Міністерство освіти і науки України  
Інженерний навчально-науковий інститут  
імені Ю.М. Потебні  
Запорізького національного університету

О.Г. Добровольська

ІНЖЕНЕРНА ГІДРОЛОГІЯ ТА ГІДРОМЕТРІЯ  
Конспект лекцій  
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра  
спеціальності 192 “Будівництво та цивільна інженерія”  
освітньо-професійної програми  
«Водопостачання та водовідведення»

Затверджено  
вченою радою ЗНУ  
Протокол № від

Запоріжжя  
2022

628.1 Добровольська О.Г., Інженерна гідрологія та гідрометрія : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Водопостачання та водовідведення». Запоріжжя : ЗНУ, 20 22. 149 с.

У рукопису подано в систематизованому вигляді програмний матеріал дисципліни «Інженерна гідрологія та гідрометрія», конструктивні особливості та методи розрахунку гідротехнічних споруд, подається лекційний матеріал з дисципліни, довідкові матеріали, питання для модульного тестування. Містить ілюстративний (рисунок, схеми) і табличний матеріали.

Для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Водопостачання та водовідведення».

Рецензенти

*В. А. Банах*, доктор технічних наук, проректор з науково-педагогічної роботи та технічної освіти Запорізького національного університету

*Є. А. Манідіна*, кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології та охорони праці Запорізького національного університету

Відповідальний за випуск

*А. В. Банах*, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри міського будівництва і архітектури

## Лекція1 Морфологія та морфометрія річок та басейнів. Живлення річок

**Мета лекції:** вивчення гідрологічних характеристик, ознайомлення із морфометричними, фізико-географічними та геологічними характеристиками басейну ріки, ознайомлення із класифікацією річок, набуття навичок визначення морфометричних характеристик басейну ріки.

### План

1. Поняття гідрологічного режиму та гідрологічних процесів. Типи річок.
2. Морфометричні, фізико-географічні та геологічні характеристики басейну ріки.
3. Річна мережа. Морфологічні елементи русла ріки.
4. Класифікація річок за видами живлення.

**1. Поняття гідрологічного режиму та гідрологічних процесів. Типи річок.** Під гідрологічним режимом слід розуміти зміни гідрологічного стану водних об'єктів, що повторюються закономірно. Будь-який водний об'єкт характеризується наступними гідрологічними характеристиками:

- 1) Характеристики водного режиму:
  - рівень води  $H$  (м., абс. см. над "0");
  - $V$  – м/с;
  - $Q$  – м<sup>3</sup>/с за інтервал  $\Delta t$ ;
  - ухил водної поверхні  $J$ .
- 2) Характеристики теплового режиму:
  - температура води, снігу, льоду  $T^{\circ}\text{C}$ ;
  - тепловий сток за  $\Delta t$  ( $\Theta$ , Дж);
- 3) Характеристики кригового режиму:
  - початок і кінець різних фаз кригового режиму (кригоставу, очищення);
  - товщина кригового покриву;
- 4) Характеристики режиму наносів:
  - вміст у воді завислих наносів,  $S$  кг/м<sup>3</sup>;
  - витрата наносів,  $R$  кг/с;
  - розподіл за крупністю;
- 5) Характеристики форми і розміру водного об'єкту:
  - довжина,  $L$  км;
  - ширина,  $B$  км;
  - глибина,  $h$  м;

- 6) Гідрохімічні характеристики:
  - мінералізація, М мг/л;
  - сольоність, S %;
- 7) Гідрофізичні характеристики:
  - в'язкість води,  $\rho$  кг/м<sup>3</sup>;
- 8) Гідробіологічні характеристики:
  - склад і чисельність мікроорганізмів у воді, (екз/м<sup>3</sup>);

Гідрологічний стан водного об'єкту – це сукупність його гідрологічних характеристик.

Змінність гідрологічних характеристик у часі має декілька видів: сторічна змінюваність пов'язується з інтервалами часу або періодами; багатолітня - з періодами коливань до десятків років; сезонна або короткочасна.

Річкою називають водотік значних розмірів, який живиться атмосферними опадами та підземними водами і має чітко сформоване потоком русло. Це постійні та відносно великі водотоки з площею басейнів не менше, ніж 50 км<sup>2</sup>. Найбільшу площу басейну має річка Амазонка, найбільшу довжину – річка Нил.

В залежності від площі річного басейну ( $S_6$ ) розрізняють річки великі – з площею  $S_6 > 50\,000$  км<sup>2</sup>, середні, які мають площу  $S_6 = 2\,000-50\,000$  км<sup>2</sup>, малі річки з площею  $S_6 < 2000$  км<sup>2</sup>.

За умовами протікання розрізняють річки рівнинні ( $F_r < 0,1$ ), напівгірські

( $F_r = 0,1-1,0$ ), гірські ( $F_r > 1$ ),

де  $F_r$  – число Фруда:

$$F_r = v^2/gh, \quad (1.1)$$

де  $V$  - швидкість, м/с;

$h$  – глибина річки, м.

За переважаючими джерелами живлення виділяють річки снігового, дощового, льодовикового і підземного живлення. За водним режимом протягом року виділяють річки з весняним водопіллям, водопіллям у теплу частину року та паводковим режимом.

За ступенем стійкості русла розрізняють річки стійкі і нестійкі, а за льодовим режимом – замерзаючі та незамерзаючі.

## 2. Морфометричні фізико-географічні та геологічні характеристики басейну ріки.

Водозбір - це частина земної поверхні, товщини ґрунту, звідки річка отримує живлення. Розрізняють поверхневий і підземний водозбори.

Басейн ріки - це частина земної поверхні, яка включає дану річкову систему та обмежена вододілом від інших річкових систем.

Часто водозбір та басейн співпадають. Але в окремих випадках безстічна територія в межах річного басейну до складу водозбору не належить. Це трапляється тоді, коли в басейні є площі внутрішнього стоку або площі, з яких стоку не буває.

Кожен річковий басейн описується певними морфометричними характеристиками. До морфометричних характеристик басейну ріки належать наступні характеристики:

- площа басейну  $F$ ;
- довжина басейну  $L_b$  (пряма, яка з'єднує гирло та місце на водорозділі, що прилягає до витoku ріки);
- максимальна ширина  $B_{б\max}$  (визначається за прямою лінією яка перпендикулярна до вісі басейну в найбільш широкій його частині);
- середня ширина басейну  $B_{б\text{ср}}$ :

$$B_{б\text{ср}} = F / L_b, \quad (1.2)$$

- довжина водороздільної лінії  $a_{вдр}$ ;
- розподіл площі басейну за висотами місцевості, який представлений гіпсографічною кривою (вона показує, яка частина площі басейну в  $\text{км}^2$  або в % розташована вище будь-якої позначки місцевості).

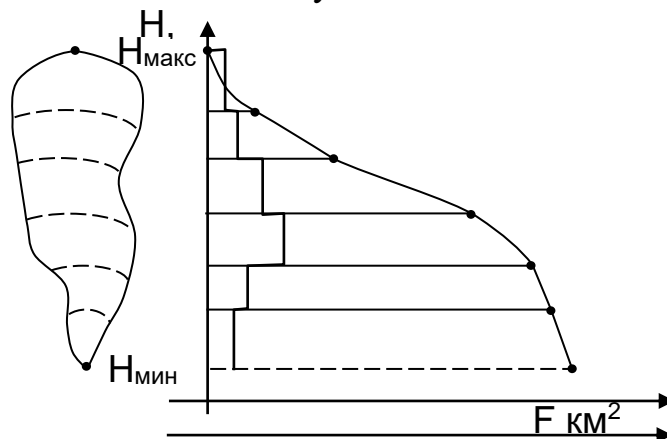


Рисунок 1.1 - Розподіл площі басейну за висотами та гіпсографічна крива - середній похил поверхні водного басейну:

$$i_{cp} = \frac{\Delta H}{F} \sum_{i=1}^n \frac{l}{2} (l_R + l_{R+1}) \quad (1.3)$$

де  $l_R, l_{R+1}$  - довжина сумісних горизонталей;

$\Delta H$  - різниця висот між сумісними горизонталями;

$F$  - повна площа басейну;

$n$  - число висотних інтервалів.

Фізико-географічні та геологічні характеристики річкових басейнів:

- географічне положення басейну на континенті;
- географічна зона або висотні пояса;
- геологічна будова, тектоніка, фізичні та водні властивості;
- рельєф;
- клімат (циркуляція атмосфери, режим температури і вологості повітря), кількість та режим атмосферних осадів);
- ґрунтово-рослинний покрив;
- характеристика річної мережі;
- наявність та особливості інших водних об'єктів (озер, боліт, льодовиків).

Річні басейни змінюються в результаті господарської діяльності: штучного перетворення поверхні басейну (вирубки лісу, агролісотехнічних заходів), штучного перетворення гідрографічної мережі басейну та режиму річок (греблі, водосховища, канали, шлюзи, тощо).

**3. Річна мережа. Морфологічні елементи русла ріки.** Гідрографічна мережа басейну - це сукупність водотоків (річок, тимчасових водотоків), водоймищ та особливих водних об'єктів (болот, льодовиків) в межах річного басейну

Під русловою мережею слід розуміти сукупність природних та штучних водотоків.

Річна система - це частина гідрографічної і руслової мережі. Це головна ріка, яка впадає у приймальну водойму, та всі притоки, які впадають у неї. Як правило, це найдовша ріка

Довжина ріки - це відстань уздовж русла між витокom і гирлом ріки.

Виток - місце початку ріки (вихід із озера, болота, льодовика).

Гирло - місце впадання в приймальну водойму (океан, море, озеро).

Коефіцієнт покрученості ( $K_{покр}$ ) - відношення довжини будь-якої ділянки  $L_i$  до довжини прямої  $l_i$ , що з'єднує кінці цієї ділянки:

$$K_{покр} = \frac{L_i}{l_i}$$

(1.4)

Взаємозв'язок між довжиною річки  $L$  та площею річкового басейну  $F$ :

$$L = 1,36 \cdot F^{0,56}$$

(1.5)

Густота річної мережі басейну:

$$d = \sum L_i / F \text{ км/км}^2$$

(1.6)

Структура сучасної річної мережі вивчається за допомогою геологічних та геоморфологічних досліджень.

Річки течуть у вузьких витягнутих знижених формах рельєфу, які характеризуються похилом свого ложа від одного кінця до другого і називаються долинами. Складовими частинами річкової долини є дно або ложе, тальвег, русло, заплава, схили долини, тераси і бровка. Ложе – найбільш знижена частина долини. Тальвег – безперервна звивиста лінія, яка з'єднує найнижчі точки дна долини. Річкове русло являє собою ерозійну заглибину, вироблену водним потоком і заповнену його водами. Частина дна долини, яка заповнюється високими річковими водами, називається заплатою.

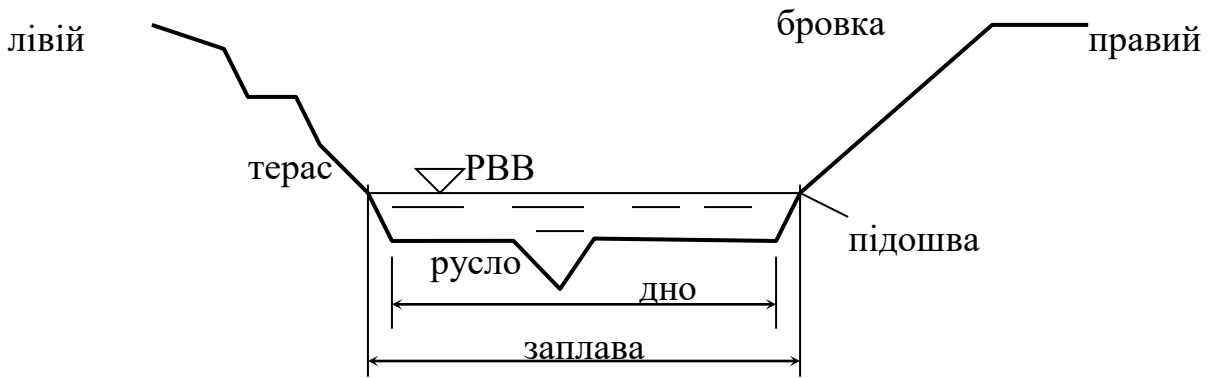


Рисунок 1.2 - Схематичний переріз річкової долини

Морфологічні особливості русла можна охарактеризувати ізобатами (лініями однакових глибин) і поперечним профілем русла.

Річні долини за походженнями бувають тектонічні, кригові, ерозійні.

За формою в плані розрізняють наступні види русел річок: прямолінійні, покручені, розділені на рукава, розкидані (блукаючі).



Рисунок 1.3 - Типи річних русел

Морфометричні характеристики річного русла:

- площа поперечного перетину  $\varpi$ ;
- ширина русла  $B$ ;
- максимальна глибина  $h_{\text{макс}}$ ;
- середня глибина  $h_{\text{ср}}$ ;

$$h_{\text{ср}} = \varpi / B; \quad h_{\text{ср}} \approx \frac{2}{3} h_{\text{макс}}$$

(1.7)



- довжина змоченого периметру  $p$  (лінія, яка проходить від урізу води одного берега до урізу води протилежного берега та дну річки);
- гідравлічний радіус  $R$ :

$$R = \omega/p \quad (1.8)$$

Морфологічні елементи річкового русла:

- ізлучини (меандри);
- осередки - затоплені рухливі утворення на дні;
- острова;
- глибокі та мілкі ділянки русла - плеси і переكاتи;
- донні гряди.

Поздовжній профіль ріки - це графік зміни позначок дна та водної поверхні уздовж русла.

Падіння ріки ( $\Delta H$ ) - різниця позначок дна або водної поверхні на будь-якій ділянці. Різниця позначок витoku та гирла – це повне падіння ріки.

Поздовжні профілі русла можуть бути плавновигнутими, прямолінійними, опуклими, ступінчастими (визначаються геологією, рельєфом річного басейну).

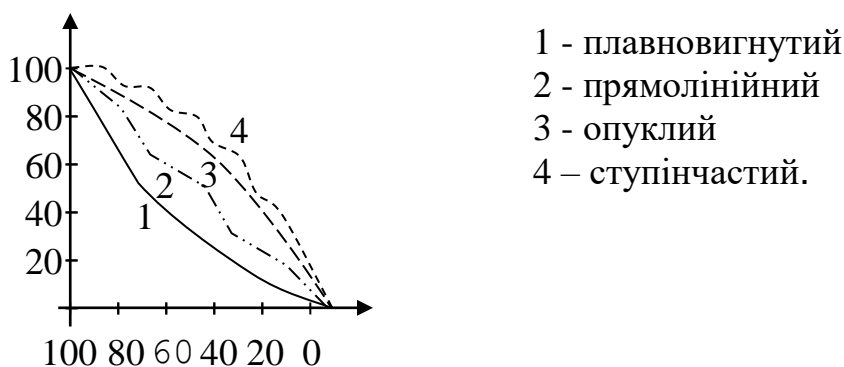


Рисунок 1.4 - Різні форми поздовжніх профілів

Похил ріки (для дна і водної поверхні) – це відношення величини різниці висот будь-яких точок поверхні  $\Delta H_i$  до довжини річки на ділянці між цими точками  $L_i$ , %:

$$J = \frac{\Delta H_i}{L_i} \times 100\% \quad (1.9)$$

Лінія дна на поздовжньому профілі завжди нерівна внаслідок чергування глибоких та мілких місць у руслі річки (плесів і переكاتів).

**4.Класифікація річок за видами живлення.** Рівняння водного балансу для річної системи можна записати так:

$$x + y_1 + w_1 + z_1 = y_2 + w_2 + z_2 \pm \Delta U, \quad (1.10)$$

де  $x$  - атмосферні осадки;

$y_1$  - поверхневий приток із зовні;

$w_1$  - підземний приток;

$z_1$  - конденсація;

$y_2$  - поверхневий відток;

$w_2$  - підземний відток;

$z_2$  - випарення;

$\pm \Delta U$  - зміна кількості води в межах об'єкту.

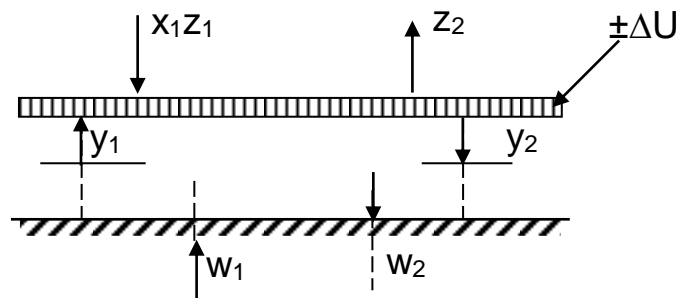


Рисунок 1.5 - Схема балансу водного об'єкту

Випаровування з водної поверхні тим більше, чим менше вологість повітря (та більший дефіцит вологості) і більша швидкість повітря.

Випаровування можна визначати за формулою Б.Д. Зайкова:

$$Z = 0,14n(l_0 - l_{200})(1 + 0,72W_{200}), \quad (1.11)$$

де  $Z$  – величина випаровування, мм;

$l_0$  - середнє значене упрюгості водяного пару;

$l_{200}$  - середнє значене упрюгості водяного пару (абсолютна вологість пару) на висоті 200 м над водоймою в гПа (мбар);

$W_{200}$  - середня швидкість вітру на висоті 200 см над водоймою, м/с.

Випаровування з поверхні ґрунту тим більше, чим більше вологість ґрунту, дефіцит вологості повітря і швидкість вітру.

Фізіологічне випаровування рослинним покровом (транспірація) – це поглинення вологи; підйом води по стеблам; випаровування з поверхні листя.

Чим менша вологість повітря, чим більш сухий ґрунт, тим більші витрати на випаровування та інфільтрацію і тим менший дощовий стік.

Виділяють чотири типи живлення: снігове, дощове, льодовикове, підземне. В жарких районах, де снігу не буває і ґрунтові води залягають на великій глибині, єдиним джерелом живлення річок є дощі.

Снігове живлення. Запаси снігової води залежать від кількості зимових осадів. Багато снігу накопичується у зниженнях, балках, місцях розповсюдження кущової рослинності.

Виділяють процеси сніготанення та водовіддачі сніговим покривом. Сніготанення починається після виникнення теплового балансу на поверхні снігу, водовіддача – після початку сніготанення та залежить від таких властивостей снігу, як зернистість, капілярність, тощо.

Весняне сніготанення поділяється на три періоди:

- початковий період (танення повільне, водовіддачі немає), тане приблизно 30% снігу;
- період сходу основної маси снігу (поява проталин, інтенсивна водовіддача), тане приблизно 50% снігу;
- період закінчення танення, тане приблизно 20% снігу.

Важливою характеристикою сніготанення є інтенсивність, яка визначається характером зміни температури поверхні у весняний період та особливостями підстилаючої поверхні.

Розрахунок танення визначається зміною температури повітря, як головної причини сніготанення:

$$h = \alpha \sum T, \quad (1.12)$$

де  $h$  – шар талої води, м;

$\alpha$  - коефіцієнт танення;

$\sum T$  - сума позитивних середніх температур повітря.

Підземне живлення річок. У випадку постійного гідравлічного зв'язку з ґрунтовими водами річки отримують підземне живлення на протязі всього року, крім піку водопілля.

Льодовиковий тип живлення.

На високих горах сніг в теплу пору року розтає не повністю, поповнює запаси, що залишилися з попередніх років і дає початок льодовикам. Талі води цих льодовиків і є ще одним видом живлення.

Кількість води, яку одержують річки від того або іншого джерела живлення, неоднакова в різних районах і залежить в основному від кліматичних умов. Вперше роль клімату в живленні річок відзначив О.І. Воейков (1884). Він писав, що річки є продуктом клімату їхніх басейнів. На сьогодні це положення є дещо розширене, річки є продуктом клімату на загальному фоні ландшафту.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які типи річок вам відомі?
2. Назвіть морфометричні характеристики басейну ріки.
3. Які морфометричні характеристики річного русла вам відомі?
4. Як визначити похил водної поверхні?
5. Як класифікують річки в залежності від типу живлення?

**Лекція.** Водяний режим річок. Фактори річкового стоку. Гідрологія водосховищ

**Мета лекції:** вивчення видів коливання водності річок, засвоєння основних фаз водного режиму, отримання навичок побудови гідрографу річок, засвоєння кількісних характеристик річкового стоку, ознайомлення із гідрологічним режимом водосховищ.

План

1. Види коливання водності річок. Фази водного режиму.
2. Типовий гідрограф річок.
3. Річковий стік. Фактори та кількісні характеристики.
4. Водосховища, їх призначення, типи, характеристики Гідрологічний режим водосховищ.
5. Значення в народному господарстві.

**1. Види коливання водності річок. Фази водного режиму.** Водний режим - це закономірні зміни стоку, швидкості течії, рівнів води та похилів водної поверхні в часі та вздовж ріки.

Водність - відносна величина річкового стоку за той або інший період по зрівнянню з середнім стоком за багаторічний період.

Водоносність - абсолютна середня багаторічна величина стоку (стоку різних річок). Розрізняють наступні види коливання водності річок:

- сторічні коливання, які зумовлені сторічними змінами кліматичних умов та зволоження суші з періодом в сотні і тисячі років;

- багаторічні коливання - це коливання з періодичністю в десятки років;

- синхронні коливання стоку, які виникають у випадках, коли водність різних річок змінюється одночасно в одному і тому ж напрямі (південь Європейської частини колишнього Союзу: Дон, Волга, Кубань, асинхронне коливання стоку характерне для річок Європейської частини та Східного Сибіру);

- сезонні коливання водності – це сезонні зміни складових водного балансу.

- короткочасні коливання водності - це коливання, які зумовлені природними або метеорологічними факторами.

У водному режимі річок відзначається закономірне чергування протягом року періодів підвищеної та низької водності. Ці періоди називають фазами водного режиму. Основними фазами останнього є водопілля, межень літня та зимова, фаза осінніх дощових паводків.

Водопілля – це фаза водного режиму, яка щорічно повторюється в даних кліматичних умовах за один і той же сезон і характеризується найбільшою водністю, високим і тривалим підйомом рівню води (під дією талих снігових та дощових вод). За походженням водопілля може бути сніговим, снігово-дощовим або дощовим. Тривалість водопілля буває від декількох днів на малих річках, до 4-5 місяців на великих. За час весняного водопілля річки проносять біля 50% річного об'єму стоку в північних районах і 90-100% річного стоку – в південних. Різновидністю водопілля є повені. Повені – це дуже високі водопілля, які призводять до затоплення значних площ у долинах річок. Паводки - фаза водного режиму, яка багатократно повторюється в різні сезони року та характеризується інтенсивним, короткочасним збільшенням витрат та рівнів води. За часом настання паводки можуть бути зимовими, літніми та протягом усього року.

Паводки поділяють на місцеві (якщо їх сформували дощі, які випали в даному регіоні) та транзитні або верхові, які утворились від дощів, котрі випали вище по течії. Швидкість руху паводкової хвилі  $V$  обчислюється як відношення довжини шляху  $L_{xв}$ , що пройшла хвиля до часу руху  $t$ , тобто  $V=L_{xв}/t$ .

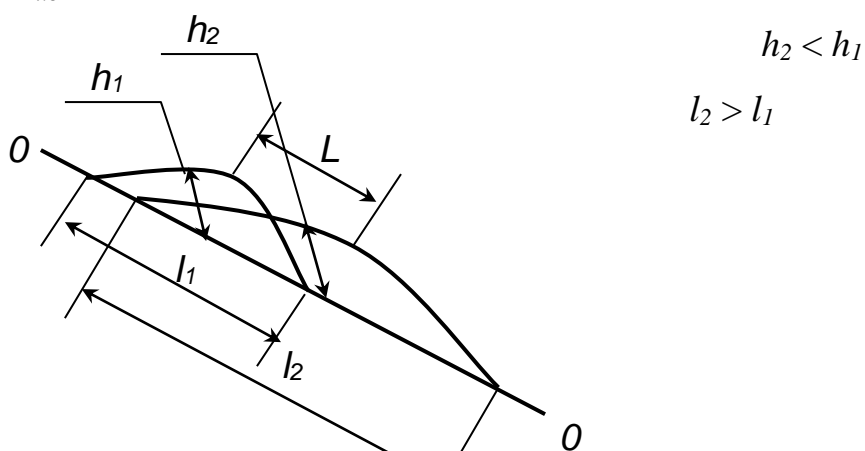


Рисунок 1 – Схема руху паводкової хвилі

$l_1, l_2$  - довжина паводкової хвилі через різні проміжки часу, м;

Паводки на гірських річках рухаються з швидкістю до 4 м/с і більше, рівнинних – 1,0...1,5 м/с.

Межень - фаза водного режиму, яка щорічно повторюється в один і той же сезон, та характеризується малою водністю, тривалим низьким рівнем та виникає внаслідок зменшення живлення ріки.

Літню та зимову межень спостерігають в зоні достатньої вологості, де річки мають достатнє ґрунтове живлення, що забезпечує високий стік літньої межні. Взимку малі річки можуть промерзати до дна.

За часом настання межень буває літньою та зимовою, за характером коливання витрат і рівнів – стійкою (степові рівнинні ріки), нестійкою, переривчастою (гірські річки), тривалою і короткою.

Гідрологічний рік включає повний цикл гідрологічних сезонів або фаз. Його початок відносять до початку яскраво вираженої фази водного режиму.

Спеціалісти-гідрологи використовують гідрологічний рік для прогнозування весняного стоку, розрахунків внутрішньорічного розподілу стоку.

**2. Типовий гідрограф річок.** Гідрограф ріки – це графік змінювання витрат води (у м<sup>3</sup>/с) під час року. Одночасно з витратами змінюються швидкість течії та рівень води - висота поверхні води в даному створі ріки.

В деяких випадках коливання стоку не пов'язані із зміною стоку, наприклад, при кригових явищах на річках, процесах розмиву дна, приливних явищах у гирлах річок. Графік зміни рівнів води у часі гідрографом назвати не можна.

Типовий гідрограф - це найбільш загальні риси внутрірічного розподілу витрат води у річці. Типовий гідрограф будується за гідрографом за декілька років, із позначенням межі можливих коливань витрат води.

Кількісна оцінка долі різних видів живлення у формуванні стоку здійснюється за допомогою графічного розчленування гідрографу за видами живлення (рис. 1.7).

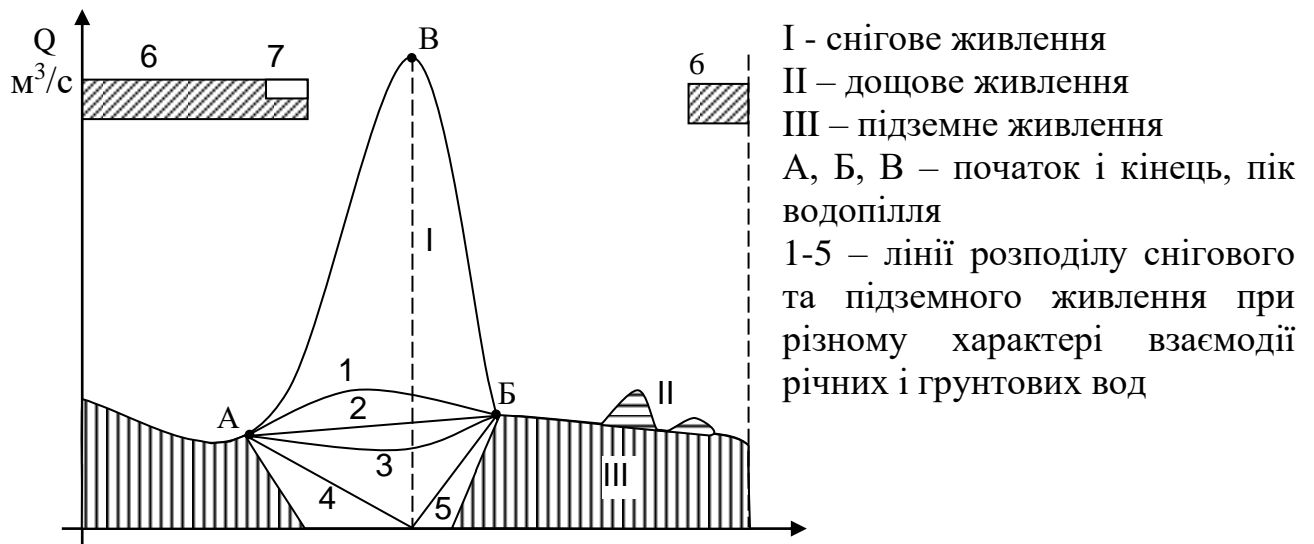


Рисунок 2 – Схема розчленування гідрографу за видами живлення

- живлення в період водопілля та паводку повторює хід гідрографу (1);
- в багатьох випадках на середніх і малих річках межа підземного живлення проходить по прямій, що з'єднує початок і кінець водопілля (2);
- при постійному або тимчасовому зв'язку між річковими і ґрунтовими водами в результаті підпору річкою ґрунтових вод підземне живлення зменшується до мінімуму (3);
- при недостатніх свідченнях про взаємозв'язок між річковими та ґрунтовими водами для рівнинних річок умовно приймається величина підземного живлення в момент піку водопілля рівною 0 (4);
- при тривалому стоянні високих рівнів, що характерно для великих річок, вода фільтрується через ґрунт (негативне підземне живлення) (5).

В.Д. Зайков класифікував річки за внутрішньо-річним режимом стоку води. Згідно з цією класифікацією всі річки колишнього Радянського Союзу поділяються на три основні групи: з весняним водопіллям, з водопіллям в теплий період року; з паводочним режимом.

Річки з весняним водопіллям поділяються на 5 типів:

- казахстанський тип (виключно висока хвиля весняного водопілля);
- східноєвропейський тип (високе весняне водопілля, низька зимова і літня межень, завищений стік восени);



- західносибірський тип (невисоке весняне водопілля, завищений літньо-осінній стік);
- східноєвропейський тип (високе весняне водопілля, літньо-осінні паводки, низька зимова межень);
- алтайський тип (невисоке розтягнуте водопілля, завищений літній стік, низька зимова межень).

Річки з водопіллям в теплий період року поділяються на два типи:

- далекосхідний тип (невисоке, розтягнуте водопілля в теплу пору року та низький стік в холодний період року);
- тян-шанський (водопілля формується талими водами високогірних снігів та льодовиків);

Річки з паводочним режимом поділяють на три типи:

- причорноморський тип (паводковий режим протягом року);
- кримський тип (зимові паводки, тривалі літні, літньо-осінні періоди з дуже низьким стоком);
- північнокавказький тип (паводки в теплий період та низька межень в холодний період року).

Згідно із класифікацією річок за Кузіним розрізняють річки з водопіллями (переважаючий тип живлення – сніговий) з водопіллями і паводками (для таких річок характерними є сніговий і дощовий типи живлення), з паводками (дощове живлення).

**3. Річковий стік. Фактори та кількісні характеристики.** Стік – це складний природний процес, який відбувається в географічному середовищі і перебуває під впливом фізико-географічних факторів: клімату, ґрунтів, рослинності, озер і боліт. Стік формується внаслідок випадання дощів або танення снігу і льоду. Поверхневий стік спостерігається на поверхні землі, підземний стік утворюють дощові і талі води, які потрапляють у річку підземними шляхами.

Річковий стік включає поверхневу та підземну частини. Поверхневий стік – це річковий стік та криговий стік.

Річковий стік - це стік води, наносів, розчинених речовин і тепла.

Стік води – це одночасно процес стікання води в річних системах і характеристика кількості води, яка стікає.

Стік наносів - процес переміщення наносів в річних системах і характеристика кількості наносів.

Стік розчинених речовин - процес переносу в річних системах розчинених речовин та характеристика їх кількості.

Стік тепла - процес переносу разом з річними водами тепла і його кількісна характеристика.

Характеристики річного стоку:

1. Витрата води [Q] - об'єм води, який протікає через поперечний перетин за одиницю часу ( $Q, \text{м}^3/\text{с}$ ).

Для розрахунку середньодобових витрат використовуються графіки зв'язку рівнів і витрат:  $Q = f(H)$ .

Середньодобова витрата:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \quad (1)$$

де  $n$  - число днів;

$Q_i$  - середньодобові витрати.

Середньорічна витрата:

$$Q_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$$

(1.14)

де  $n$  - число років;

$Q_i$  – середня витрата за рік.

2. Об'єм стоку води [W] - це об'єм води, який проходить через поперечний перетин за будь-який інтервал часу:

$$W = \bar{Q} \cdot \Delta t,$$

(1.15)

де  $Q$  - середня витрата за проміжок часу  $\Delta t$

Якщо значення  $Q$  приймається у  $\text{м}^3$ , то:

$$W = Q \cdot \Delta t \cdot 10^9, [\text{км}^3]; \quad (2)$$

якщо проміжок часу виражається у секундах, тоді:

$$W = Q \cdot 31,5 \cdot 10^6, [\text{м}^3] \quad (3)$$

Отже, щоб отримати об'єм стоку води у км<sup>3</sup>/рік треба користуватись рівнянням:

$$W = Q \cdot 31,5 \cdot 10^{-3}, \text{ [км}^3\text{/рік]} \quad (4)$$

3. Шар стоку [h] - це кількість води, яка стікає з водозбору за будь-який інтервал часу, що дорівнює товщині шару, рівномірно розподіленого на площі водозбору.

$$h = \frac{W, [\text{м}^3] \cdot 10^{-3}}{F, [\text{км}^2]}, \text{ [мм]} \quad (5)$$

де  $F$  – площа водозбору, км<sup>2</sup>.

4. Модуль стоку води [M] - це кількість води, яка стікає з одиниці площі водозбору за одиницю часу:

$$M = \frac{Q \cdot 10^3}{F}, \text{ л/с} \cdot \text{км}^2 \quad (6)$$

$$h = M \cdot 31,5 \quad (7)$$

5. Коефіцієнт стоку [K] - це відношення об'єму (шару стоку) до кількості атмосферних осадів:

$$k = h / x, \quad (8)$$

де  $x$  – кількість атмосферний осадів, мм.

**4.Водосховища, їх призначення, типи, характеристики.** Водосховище - це штучна водойма, що створена для накопичення та послідуочого використання води і регулювання стоку. Одне з перших водосховищ з греблею Садд-ель-Кафала утворене в Єгипті у 2950-2750 р.р. до н.е. Зараз на земній кулі приблизно 3000 водосховищ, щорічно утворюється близько 200-500 водойм. Водосховища утворюються після перегороджування русла та заплави річки греблею. Вони поєднують у собі ознаки озера та річки.

Утворення водосховищ дозволяє вирішувати ряд важливих соціально-економічних питань, задовольняючи потреби людини: накопичену воду використовують для зрошення земель, водопостачання, покращення судноплавних умов, регулювання річного стоку, тощо.

Типи водосховищ. Згідно з класифікацією К.К. Едельштейна розрізняють долинні і улоговинні водосховища. Долинні мають ложе, що

являється частиною річної долини (відрізняються наявністю ухилу дна і зростанням глибини в напрямку від верхньої частини до греблі).

Улоговинні - це підперті (зрегульовані) озера та водосховища, розташовані в ізольованих низинах, відгороджених затоках, лиманах.

Заплава - це частина річної долини, яка заливається водою під час повені.

Невеликі водосховища, площа яких не перевищує 1 км<sup>3</sup>, називаються ставками.

За способом заповнення водою розрізняють загатні водосховища, їх наповнює вода водотоку, на якому вони розташовані, та наливні, в які вода подається із розташованого поблизу водотока.

За географічним положенням виділяють гірські, передгірські, рівнинні та приморські водосховища:

- гірські - вузькі та глибокі, відрізняються підвищенням рівню до 300 м і більше внаслідок улаштування греблі;
- на передгірських водосховищах висота напору становить 50-100 м;
- рівнинні водосховища мають напір не більш 30 м;
- приморські мають невеликий напір в декілька метрів.

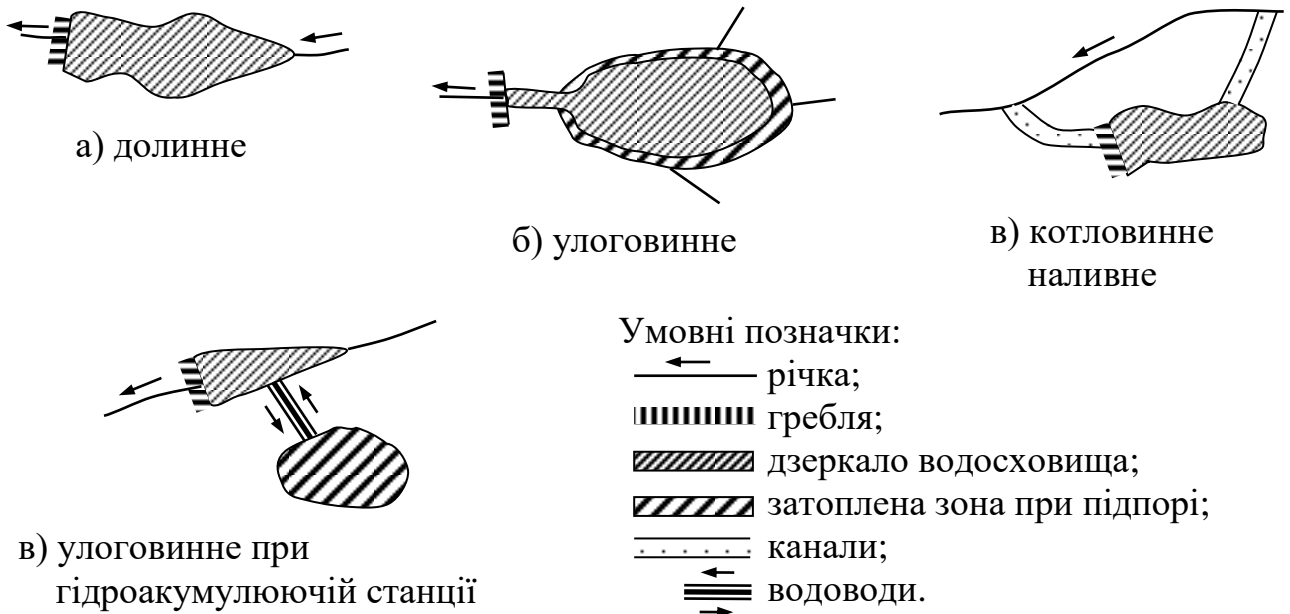


Рисунок 3 – Основні типи водосховищ

За місцем розташування в річному басейні розрізняють верхові та низові водосховища. Система водосховищ на річці називається каскадом.

За ступенем регулювання річного стоку розрізняють водосховища багаторічного, сезонного, тижневого і добового регулювання.

З морфометричних характеристик найважливішими являються площа поверхні  $F$  та об'єм  $V$ .

Період наповнення, період спрацювання - важливі характеристики, на які розраховуються водосховища.

Накопичення води триває до періоду досягнення нормального підпертого рівня (НПР). Під час водопілля допускається перевищення НПР на 0,5-1 м. Такий рівень називають форсований підпертий рівень (ФПР). Гранично можливий низький рівень називається рівнем мертвого об'єму (РМО). Об'єм водосховища, який знаходиться нижче РМО, називається мертвим об'ємом (МО). Для регулювання стоку використовується об'єм розташований між РМО та НПР, який називається корисним об'ємом (КО).

Повний об'єм - це сума корисного та мертвого об'ємів. Об'єм, що розташований між НПР та ФПР називають резервним об'ємом (РО).

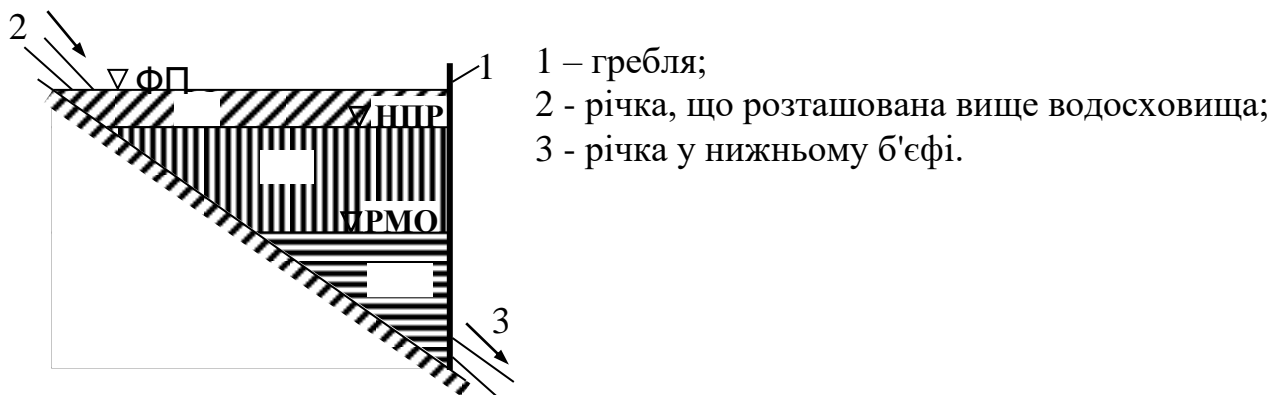


Рисунок 4 – Основні елементи водосховища

**Гідрологічний режим водосховищ. Значення в народному господарстві.** Водний баланс є найхарактернішим показником, що визначає гідрологічний режим водосховища.

Характерна особливість водного балансу водосховищ - перевага притоку річних вод в період наповнення та перевага стоку води у витратній частині рівняння водного балансу. Водний баланс має вигляд:

$$X + Y_{np} + Y_{скд} + Z_{конд} + W_{np} = Y_{ст} + Y_{вздб} + Z_{вип} + W_{ст} \pm \Delta U, \quad (9)$$

де  $X$  – осадки;

$Y_{np}$  - надходження води з поверхні;  
 $Y_{скд}$  - скид стічної води;  
 $Z_{конд}$  - конденсація водяного пару  
 $W_{np}$  – підземний притік;  
 $Y_{ст}$  - поверхневий стік;  
 $Y_{вздб}$  - водозабір для господарських потреб;  
 $Z_{вип}$  – випаровування;  
 $W_{ст}$  - підземний відтік;  
 $\Delta U$  - зміни рівню води.

На долю осадів припадає приблизно 2-3%, на долю випаровування - не більш 10% витрат води.

Коливання рівню води відбувається внаслідок штучного регулюємого процесу наповнення або спрацювання водосховища. Значення коливання рівню по сезонам складає 5-7 м, на гірських водосховищах - 50-80 м.

Течії у водосховищах відрізняються складною структурою. У водосховищах з великою площею поверхні спостерігаються вітрові течії.

Хвилювання залежить від розміру водосховищ. Висота хвиль досягає 2-3 м. Важливими наслідками вітрових хвилювань є вертикальне переміщення води.

Якщо процес відкладання у водосховищі наносів являється рівномірним, період замулення мертвого об'єму  $\tau_{зм}$  можна знайти за формулою:

$$\tau_{зм} = V_{МО}/W_R(1 - \sigma), \quad (10)$$

де  $V_{МО}$  - мертвий об'єм водосховища, м<sup>3</sup>;

$W_R$  - середній річний стік наносів, м<sup>3</sup>;

$\sigma$  - доля стоку наносів, що проходять транзитом (для глибоких гірських водосховищ  $\sigma = 0$ , тому що наноси залишаються на дні).

Стік наносів визначається за формулою:

$$W_R = R \cdot 31,5 \cdot 10^6 / \rho_{від}, \quad (11)$$

де  $R$  - середня річна витрата кг/с;

$\rho_{від}$  - густина донних відкладень;

Густина донних відкладень  $\rho_{від}$  приймається: 700-900 кг/м<sup>3</sup> для мулових відкладень; 1200-1300 кг/м<sup>3</sup> для піщаного мулу; 1800-2200 кг/м<sup>3</sup> для піску та гравію з галькою.

Велику роль у гідрологічному режимі водосховищ відіграє хвилювання, з яким пов'язане і руйнування берегів.

Береги водосховищ за своєю еволюцією поділяють на три групи: абразивні, які зазнають постійного руйнування, стабільні, які не руйнуються та акумулятивні, які нарощуються при перевідкладенні наносів. На рівнинних річках (Волга, Дніпро, Дон) абразивними є 40-50% берегів.

Після улаштування водосховища та підвищення рівню води в зону хвильової переробки (абразії) потрапляють береги водосховищ. Формуються береговий уступ та абразивна міль у верхній частині берегового схилу. Найбільш інтенсивно руйнуються берега, що складені льосовидними ґрунтами, берега у степовій, напівпустельній та пустельній зонах. За перші 10 років існування водосховища берег може відступити на 200 м і більше.

Водосховища уповільнюють водообмін у гідрографічній мережі річних басейнів. Спорудження водосховищ сприяло збільшенню об'єму води суші приблизно на 6 тис.км<sup>3</sup> та уповільненню водообміну приблизно у 5 разів. Щодо Дніпра, то його водообмін уповільнився у 7-11 разів.

Спорудження водосховищ викликає як зменшення стоку води в результаті додаткових витрат на випарення з поверхні водойми, так і стоку наносів, біогенних та органічних речовин внаслідок їх накопичення у водоймі.

Загальне зменшення річкового стоку у порівнянні з природними умовами (до спорудження водосховища) можна оцінити за допомогою рівняння:

$$\Delta W = (z_g - z_c) \times (F_{вдсх} - F_p) \times 10^{-6}, \quad (12)$$

де  $\Delta W$  - зменшення річного об'єму стоку, м<sup>3</sup>;

$Z_g, Z_c$  - випарення з водної поверхні та суші за рік, мм;

$F_{вдсх}, F_p$  - площі відповідно водосховища та поверхні ріки біля місця штучної водойми до її утворення, км<sup>2</sup>.

В умовах надмірного зволоження випаровування з водної поверхні водосховища набагато перевищує випаровування з поверхні суші . Тому в умовах надмірного зволоження спорудження водосховищ не приводить до суттєвих втрат річного стоку .

Зменшення водообміну внаслідок спорудження водосховищ приводить до зменшення швидкості течії в річних системах та зменшенню властивості до самоочищення ; зменшенню теплового стоку ; погіршення якості річної води в результаті збільшення тривалості контакту води з дном та берегами .Внаслідок спорудження водосховищ та відкладень в них наносів суттєво зменшується стік наносів.

До 1950 р. на річках України загальна площа штучних водойм не перевищувала 1000000га, а повний об'єм їх становив 1,4 км<sup>3</sup>. Нині водосховища займають 11782 км<sup>2</sup> і вміщують 58,2 км<sup>3</sup> води.

Водосховища в більшості випадків використовують комплексно. Вони дають можливість вирішувати питання гідроенергетики, транспорту, зрошення, обводнення, осушення, водопостачання, рибного господарства.

На дніпровських електростанціях у середній за водністю рік виробляється біля 10 млрд. кВт/год електроенергії. Завдяки водосховищам дніпровською водою зрошується понад 1,3 млн.га земель. Всього на різні потреби безповоротно забирається близько 10км<sup>3</sup> води щорічно. Зі створенням водосховищ значно поліпшилися умови судноплавства на Дніпрі, оскільки суттєво збільшилися судноплавні глибини (до 3,65 м), що забезпечує проходження суден з осадкою до 3,4 м.

Зарегульованість стоку Дніпра дала можливість вирішити проблему боротьби із затопленням значних площ під час весняних водопіль.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Як утворюються озера?
2. Що таке денівеляція?
3. Які типи водосховищ вам відомі?
4. Яке значення мають водосховища для народного господарства?
5. Як впливає спорудження водосховищ на навколишнє середовище
6. Чим відрізняються водопілля від паводків?
7. Якими русловими діючими силами забезпечується поздовжня рівновага потоку?
8. Як виникає поперечна циркуляція у місті згинання річного потоку?
9. Як змінюється швидкість течії в залежності від глибини потоку?
10. За якими кількісними характеристиками можна оцінити річний стік?



### Лекція 3. Річкові наноси. Руслові процеси. Термічний і криговий режими річок

**Мета лекції:** ознайомлення з видами річкових наносів, засвоєння характеристик руху річкових наносів, ознайомлення із мікроформами, мезоформами та макроформами річного русла, засвоєння кількісних характеристик термічного і кригового режиму річок.

#### План

1. Характеристики, класифікація річкових наносів.
2. Рух річкових наносів.
3. Руслові процеси, їх типізація. Мікроформи, мезоформи та макроформи річного русла.
4. Термічний і криговий режими річок.

**1. Характеристики, класифікація річкових наносів.** Річкові наноси – це тверді частинки, що переносяться потоком та утворюють руслові та заплавні відкладення. Наноси, що складають дно річки, називаються донними відкладеннями або алювієм.

Важливими характеристиками наносів являються: геометрична крупність  $D$ , мм; гідравлічна крупність  $w$ , мм/с, мм/хв; густина  $\rho$ , кг/см<sup>3</sup> (наприклад  $\rho_{\text{піска}} = 2650$  кг/м<sup>3</sup>); густина відкладень  $\rho_{\text{відкл}}$ , кг/м<sup>3</sup> (густина мулових відкладень 500-1000 кг/м<sup>3</sup>, піщаних - 1500-1700 кг/м<sup>3</sup>, змішаних - 1000-1500 кг/м<sup>3</sup>);

- концентрація наносів:

$$S = \frac{m}{V} \left[ \frac{\text{г}}{\text{м}^3}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \quad (1)$$

де  $m$  – маса наносів, г, кг;  $V$  – об'єм наносів, м<sup>3</sup>.

За геометричною крупністю наноси поділяють на наступні фракції: глина, мул, пил, пісок, гравій, галька, валуни.

**2. Рух річкових наносів.** Із загальної кількості частина наносів переноситься водами річок у завислому стані, а частина перетягується по дну. В залежності від цього річкові наноси поділяються на завислі і донні.

Завислі наноси. Відрив частинок наносів від дна зумовлений підйомною силою  $F_{\text{п}}$ , яка виникає внаслідок несиметричного обтікання їх потоком. Крім підйомної сили в потоці існує і лобова сила  $F_{\text{л}}$ , яка діє на грань частинки, що повернута проти течії. Швидкість, з якою тверді частинки рівномірно опускаються в стоячій воді на дно, називається гідравлічною крупністю (мм/с).

Завислі наноси переносяться у товщині річного потоку при умові:

$$U_z^e \geq w, \quad (2)$$

де  $U_z^e$  – вертикальна складова вектора швидкості течії;  $w$  – гідравлічна крупність наносів.

Наноси, крупність яких перевищує 1,5 мм, осаджуються з підвищеними швидкостями, тобто їх рух характеризується турбулентним режимом. Взаємозв'язок між гідравлічною та геометричною крупністю визначається рівнянням:

$$w = k \sqrt{\frac{g(\rho_n - \rho_e)D}{\rho_e}},$$

(1.14)

де  $\rho_n$ ,  $\rho_e$  – питома вага наносів та води відповідно, кг/м<sup>3</sup>;  $k$  – коефіцієнт, який залежить від форми частинок.

Процес осадження наносів, крупність яких менше, ніж 0,15 мм, характеризується ламінарним режимом:

$$w = \frac{g(\rho_n - \rho_e)D^2}{18 \cdot \rho_e \cdot \nu}, \quad (3)$$

де  $\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості.

Наноси крупністю 0,15-1,5 мм характеризуються перехідним режимом падіння.

Донні наноси. Наноси, гідравлічна крупність яких перевищує вертикальну складову швидкості течії, опускаються на дно річки і стають донними. Вони переміщуються по дну річки шляхом повзання, перекатування, сальтацією (стрибокподібно).

Між масою частинок, які переміщуються по дну, і швидкістю, при якій ці частинки рухаються, існує залежність, названа законом Ері:

$$M = A \cdot V^6, \quad (4)$$

де  $M$  – маса частинок;  $V$  – швидкість руху;  $A$  – постійний коефіцієнт.

Якщо швидкості потоків рівнинного та гірського характеру мають, наприклад, співвідношення 1:3, то вага донних частинок, які переносяться потоком, буде приблизно у співвідношенні 1:729.

Транспортуюча здібність потоку ( $R_{тр}$ ) - це гранична сумарна витрата наносів, які в даних умовах переносить річка:

$$R_{mp} = k \frac{V^3}{gh_{cp} \omega} Q = S_{mp} \cdot Q, \quad (5)$$

де  $S_{тр}$  - мутність, що відповідає транспортуючій здібності потоку;  $Q$  – витрата води;  $\omega$  - середня гідравлічна крупність.

**3. Руслові процеси, їх типізація. Мікроформи, мезоформи та макроформи річного русла.** Руслові процеси - це постійні зміни морфологічної будови річного русла і заплави, які обумовлюються дією течії.

Руслові утворення – це накопичення наносів, які створюють форми рельєфу річного русла та заплави різного розміру: мікро-, мезо-, макроформи.

Мікроформи - донні гряди за розміром менші, ніж глибина русла. Мезоформи - гряди, які дорівнюють поперечним розмірам русла (річкові перекати, осередки, невеликі острова). Макроформи - крупні однорідні ділянки річного русла, які представлені прямолінійними ділянками, звивинами, меандрами.

При підвищенні витрати наносів уздовж русла ріки відбувається розмив русла (ерозія); при зменшенні витрат наносів - намив (акумуляція наносів). При умові  $R > R_{тр}$  має місце відкладення наносів або намив дна; при  $R < R_{тр}$  – дно розмивається.

**4. Термічний і криговий режими річок.** Сезонні зміни температури води: взимку крига має температуру приблизно 0°C. Температура води змінюється із зміною температури повітря, але з відставанням, максимальна температура

води завжди менша максимальної температури повітря. Максимальна температура води буває в липні-серпні (25-34°C). Восени води річок віддають акумульоване тепло в атмосферу.

Добові зміни температури теж відстають від зміни температури повітря. Мінімальна температура води в ранкові години, максимальна - о 15<sup>00</sup>-17<sup>00</sup> години. На великих ріках добова різниця температур складає 1-2<sup>0</sup> С. В цілому ж на малих річках добові коливання температури води більші, ніж на великих.

Зміни у просторі. Так для великих річок, які течуть з півдня на північ, характерні великі контрасти між температурою поверхні. В літній період зменшується температура води в річках, розташованих нижче водосховищ, що пояснюється надходженням у нижній б'єф гідровузлів глибинних вод із водосховищ. Температура взимку може підвищуватись у місцях скиду стічної води.

Льодовий режим річок – це зміна в часі процесів виникнення, розвитку і руйнування льодових утворень. В льодовому режимі замерзаючих річок виділяють 3 фази: замерзання, льодостав і скресання.

Кригові явища починаються при нульовій температурі. У початковій фазі утворюється "сало", тобто шматки крижаної плівки, які пливуть за течією. "Сало" зберігається на протязі 3-8 діб. Одночасно біля берегів, де швидкість течії менша, утворюються "забереги" - вузькі нерухомі смужки тонкого льоду. На річках України забереги з'являються спочатку на північному сході (у другій декаді листопада), на заході, півдні – на початку грудня. У випадку переохолодження річної води і наявності ядер кристалізації утворюється внутрішньоводний лід. Якщо його утворення відбувається на дні, він називається донним льодом. Накопичення внутрішньоводного льоду в середині потоку називається шугою. Осінній кригохід продовжується 10-12 днів, для малих річок його тривалість складає 7 днів. Закупорка русла льодовою масою називається зажором. Іноді утворюються затори при закупоренні русла шматками криги, які рухаються.

Льодостав – це період, протягом якого на річках стоїть нерухомий льодовий покрив. Це також процес утворення суцільного льодового покриву. На початку льодоставу товщина льоду не перевищує 5...10 см, у лютому-березні збільшується до 30...60см, а річках північного сходу України досягає 80...135см.

Інтенсивність льодоходу (густина льоду) оцінюється в балах: на річках – за 10-бальною системою, на озерах і водосховищах – за 3-бальною. Тривалість весняного льодоходу в середньому складає 5...10 днів.

Скресання річок відбувається на початку весни, коли крига починає руйнуватися.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Як відбувається процес утворення річкових наносів?
2. Яким чином рухаються завислі наноси?
3. Яка залежність описується законом Ері?
4. Що представляють собою мікро-мезо- та макроформи річного русла?
5. Як змінюється температура води у водотоці на протязі доби, на протязі року, у просторі?

## Лекція 4. Гідрологія озер, водосховищ

**Мета лекції:** ознайомлення з видами озер, засвоєння основних фаз вивчення основних типів водосховищ, отримання навичок визначення водного балансу, ознайомлення із гідрологічним режимом водосховищ.

### План

1. Озера: класифікація, рух води, елементи температурного і газового режимів.
2. Водосховища, їх призначення, типи, характеристики.
3. Гідрологічний режим водосховищ. Значення в народному господарстві.

### **1. Озера: класифікація, рух води, елементи температурного і газового режимів.**

Озера – це природні водойми, котрі являють собою западини різної форми і величини, заповнені водою, постійний рух якої в межах улоговини або відсутній або уповільнений.

За водним балансом виділяють наступні типи озер: безстічні, які не мають ні поверхневого, ні підземного стоку; стічні озера, з поверхні яких вода витрачається на випаровування і на поверхневий та підземний стік; озера з перемінним стоком, які мають стік під час водопіль та паводків, а в межень належать до безстічних озер.

За ступенем солоності виділяють прісні озера (вміст солі до 1г/кг або 1%), солонуваті (солоність 1-24,7%); солоні (вміст солі 24,7-47%), мінеральні (солоність 47%).

За хімічним складом озера поділяють на три групи: гідрокарбонатні з переважанням іонів  $\text{HCO}_3^-$ ; сульфатні з переважанням сірчанних сполук; хлоридні з переважанням іонів  $\text{Cl}^-$ .

Коливання рівнів, які відбуваються при постійному об'ємі водної маси, називаються денівеляція. Рух озерної води може бути коливальним (сейші, хвилі) або поступальним (згони, нагони, перемішування).

Хвилювання виникає під впливом вітру. Максимальна висота хвиль 3...6м.

Сейші – ці стоячі хвилі. Виникають при згонах і нагонах, різкій зміні атмосферного тиску, при сейсмічних рухах. При сейшах у водоймі завжди є точка, або декілька точок, навколо яких відбувається рух води. Такі точки називаються вузлами (рис. 1.2).

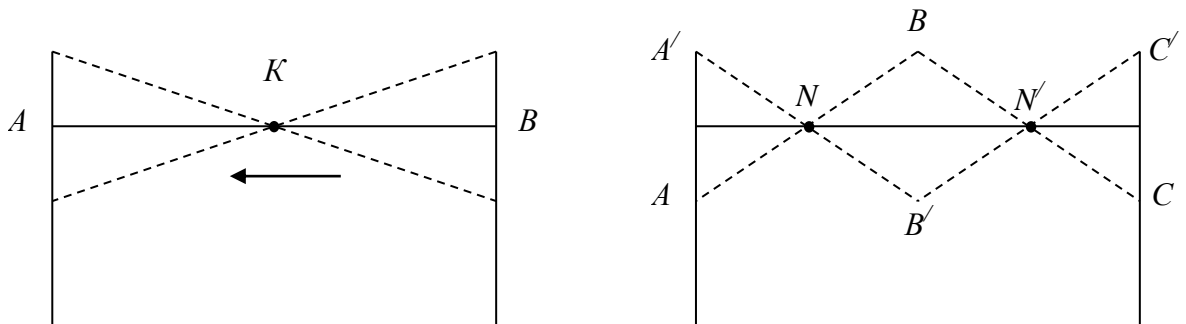


Рисунок 1 – Сейші на озерах а) <sup>а)</sup>одновузлові; б) <sup>б)</sup>двувузлові

Основним джерелом тепла, яке надходить на водну поверхню озера в літній період, є сонячна радіація. Основними втратами тепла є втрати на випаровування. Кількість поглиненої водою сонячної радіації має максимум у червні, мінімум – у грудні. Якщо температура води зменшується від поверхні озера до дна, то в озері встановлюється пряма температурна стратифікація. Якщо температура води з глибиною підвищується, то в озері встановлюється обернена температурна стратифікація, характерна для зимового періоду.

Навесні та восени товща води має однорідну температуру. Такий стан води називається газотермією. Конвекційне перемішування або вертикальна циркуляція обумовлюється різницею густини води на різних глибинах. Динамічне перемішування сприяє перенесенню тепла в глиб водойми і вирівнюванню температури за будь-якої стратифікації.

1. **Водосховища, їх призначення, типи, характеристики.** Водосховище - це штучна водойма, що створена для накопичення та послідуочого використання води і регулювання стоку. Водосховища утворюються після перегороджування русла та заплави річки греблею. Вони поєднують у собі ознаки озера та річки. Типи водосховищ. Згідно з класифікацією К.К. Едельштейна розрізняють долинні і улоговинні водосховища. Долинні мають ложе, що являється частиною річної долини (відрізняються наявністю ухилу дна і зростанням глибини в напрямку від верхньої частини до греблі).

Улоговинні - це підперті (зарегульовані) озера та водосховища, розташовані в ізольованих низинах, відгороджених затоках, лиманах. Заплава

- це частина річної долини, яка заливається водою під час повені. Невеликі водосховища, площа яких не перевищує  $1 \text{ км}^3$ , називаються ставками.

За способом заповнення водою розрізняють загатні водосховища, їх наповнює вода водотоку, на якому вони розташовані, та наливні, в які вода подається із розташованого поблизу водотока.

За географічним положенням виділяють гірські, передгірські, рівнинні та приморські водосховища: гірські - вузькі та глибокі, відрізняються підвищенням рівню до 300 м і більше внаслідок улаштування греблі; на передгірських водосховищах висота напору становить 50-100 м; рівнинні водосховища мають напір не більш 30 м; приморські мають невеликий напір в декілька метрів. За місцем розташування в річному басейні розрізняють верхові та низові водосховища. Система водосховищ на річці називається каскадом. За ступенем регулювання річного стоку розрізняють водосховища багаторічного, сезонного, тижневого і добового регулювання.

Період наповнення, період спрацювання - важливі характеристики, на які розраховуються водосховища. Накопичення води триває до періоду досягнення нормального підпертого рівня (НПР). Під час водопілля допускається перевищення НПР на 0,5-1 м. Такий рівень називають форсований підпертий рівень (ФПР). Гранично можливий низький рівень називається рівнем мертвого об'єму (РМО). Об'єм водосховища, який знаходиться нижче РМО, називається мертвим об'ємом (МО). Для регулювання стоку використовується об'єм розташований між РМО та НПР, який називається корисним об'ємом (КО). Повний об'єм - це сума корисного та мертвого об'ємів. Об'єм, що розташований між НПР та ФПР називають резервним об'ємом (РО).

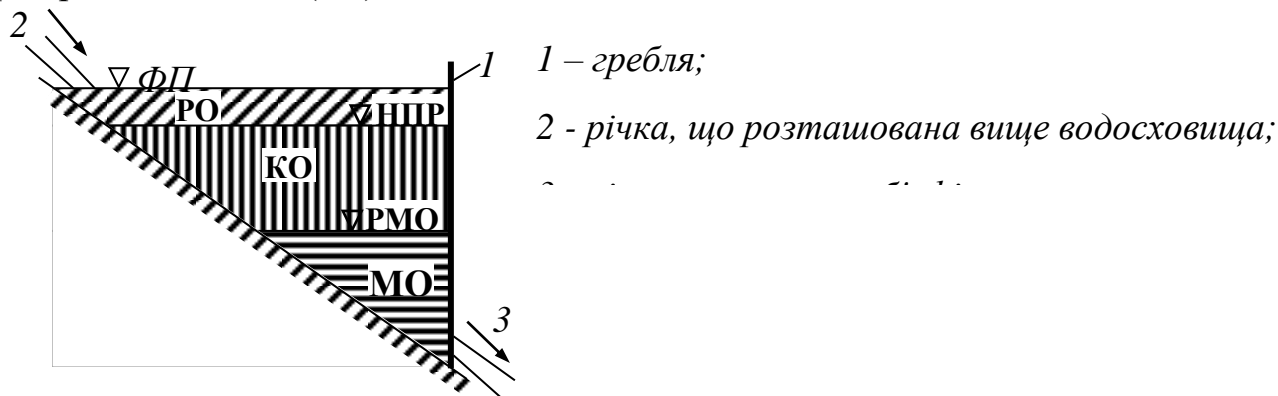


Рисунок 2 – Основні елементи водосховища



**2. Гідрологічний режим водосховищ. Значення в народному господарстві.** Водний баланс є найхарактернішим показником, що визначає гідрологічний режим водосховища.

Характерна особливість водного балансу водосховищ - перевага притоку річних вод в період наповнення та перевага стоку води у витратній частині рівняння водного балансу. Водний баланс має вигляд:

$$X + Y_{\text{пр}} + Y_{\text{скд}} + Z_{\text{конд}} + W_{\text{пр}} = Y_{\text{ст}} + Y_{\text{вздб}} + Z_{\text{вип}} + W_{\text{ст}} \pm \Delta U, \quad (1)$$

де  $X$  – осадки;  $Y_{\text{пр}}$  - надходження води з поверхні;  $Y_{\text{скд}}$  - скид стічної води;

$Z_{\text{конд}}$  - конденсація водяного пару;  $W_{\text{пр}}$  – підземний притік;  $Y_{\text{ст}}$  - поверхневий стік;  $Y_{\text{вздб}}$  - водозабір для господарських потреб;  $Z_{\text{вип}}$  – випаровування;  $W_{\text{ст}}$  - підземний відтік;  $\Delta U$  - зміни рівню води.

На долю осадів припадає приблизно 2-3%, на долю випаровування - не більш 10% витрат води. Коливання рівню води відбувається внаслідок штучного регулюємого процесу наповнення або спрацювання водосховища. Значення коливання рівню по сезонам складає 5-7 м, на гірських водосховищах - 50-80 м. Течії у водосховищах відрізняються складною структурою. У водосховищах з великою площею поверхні спостерігаються вітрові течії. Хвилювання залежить від розміру водосховищ. Висота хвиль досягає

2-3 м. Важливими наслідками вітрових хвилювань є вертикальне переміщення води.

Водосховища уповільнюють водообмін у гідрографічній мережі річних басейнів . Спорудження водосховищ сприяло збільшенню об'єму води суші приблизно на 6 тис.км<sup>3</sup> та уповільненню водообміну приблизно у 5 разів. Щодо Дніпра, то його водообмін уповільнився у 7-11 разів.

Спорудження водосховищ викликає як зменшення стоку води в результаті додаткових витрат на випарення з поверхні водойми, так і стоку наносів, біогенних та органічних речовин внаслідок їх накопичення у водоймі.

Загальне зменшення річкового стоку у порівнянні з природними умовами (до спорудження водосховища) можна оцінити за допомогою рівняння:

$$\Delta W = (z_g - z_c) \times (F_{\text{вдсх}} - F_p) \times 10^{-6}, \quad (2)$$

де  $\Delta W$  - зменшення річного об'єму стоку, м<sup>3</sup>;

$Z_v, Z_c$  - випарення з водної поверхні та суші за рік, мм;  $F_{\text{вдсх}}, F_p$  - площі відповідно водосховища та поверхні ріки біля місця штучної водойми до її утворення, км<sup>2</sup>.

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Яким чином утворюються озера?
2. Що таке денівеляція?
3. Які типи водосховищ вам відомі?
4. Яке значення мають водосховища для народного господарства?
5. Як впливає спорудження водосховищ на навколишнє середовище?

## Тема 5 Гідрологія підземних вод

**Мета лекції:** ознайомлення з видами води в породах, засвоєння класифікації підземних вод, ознайомлення з умовами залягання підземних вод, засвоєння особливостей руху підземних вод.

### План

1. Походження підземних вод. Види води в породах.
2. Класифікація підземних вод, типи підземних вод за характером залягання.
3. Умови залягання підземних вод.
4. Рух підземних вод.

**1. Походження підземних вод. Види води в породах.** Підземні води – це води, які знаходяться в товщі земної кори, заповнюючи різноманітні порожнини гірських порід.

За походженням розрізняють екзогенні підземні води, джерелом надходження яких являються водні об'єкти, волога атмосфери та ендогенні, джерелом надходження яких являється літосфера. Екзогенні підземні води розділяють на інфільтраційні, які проникають в гірські породи шляхом інфільтрації атмосферної, річкової, морської та озерної води і конденсаційні, які утворюються у ґрунті при конденсації пару, та седиментаційні, котрі утворились з водних об'єктів, в яких відбувався процес відкладання наносів. Серед ендогенних підземних вод виділяють дегідратаційні, які утворились в гірських породах внаслідок дегідратації мінералів та ювеніальні, котрі надходять із магматичних осередків. За характером зв'язку з частками породи, мірою обводнення цих часток і способом переміщення підземні води поділяють на гігроскопічні, плівочні, капілярні і гравітаційні, а також хімічно і фізично зв'язану воду. Наявність гігроскопічної води зумовлюється здатністю породи вбирати водяну пару. Водяна пара обволікає частку породи шаром в одну молекулу. При максимальній гігроскопічності частка породи обволікається суцільним одномолекулярним шаром. Плівкова вода, як і гігроскопічна, утримується на поверхні часток гірської породи завдяки електромолекулярним силам, які виникають між молекулами води та породи. Це рихлозв'язана вода. Капілярна вода заповнює порожнини породи після насичення плівковою водою; має важливу роль в насиченні ґрунтів водами, живленні ґрунтових вод. Капілярна вода випаровується, тому приймає участь

у кругообізі води в природі. Вільна (гравітаційна) вода в рідинному стані знаходиться в порах ґрунтів, пустот та порід та рухається під дією сили тяжіння. Її об'єм залежить від гранулометричного складу ґрунту, кількості та розміру пор. Вода в твердому стані (крига) знаходиться у ґрунті та в гірських породах у вигляді кристалів. Це гравітаційна вода, яка замерзла при температурі  $0^{\circ}$  і нижче. Хімічно зв'язана вода утримується в мінералах, утворюючи з ними більш або менш міцний зв'язок ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  - гіпс,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  - мірабіліт,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – сода тощо), ця вода може бути видаленою лише при високій температурі. Фізично зв'язана вода утримується на поверхні мінералів і ґрунту молекулярними силами та може бути видаленою при температурі  $t=90^{\circ}-120^{\circ}\text{C}$ .

**2. Класифікація підземних вод, типи підземних вод за характером залягання.** Підземні води класифікують в залежності від походження, фізичного стану, характеру ґрунтів, котрі вміщують їх, гідравлічних умов, температури, мінералізації, хімічного складу, характеру залягання.

За характером ґрунтів, котрі вміщують воду розрізняють води, які залягають у рихлих пористих ґрунтах, пластові, котрі залягають у пластах порід осаджувального походження, щілинні, які залягають у міцних, але щілинних гірських породах, щілинно-жильні, котрі розташовані в окремих тектонічних щілинах. За гідравлічними умовами розрізняють напірні та безнапірні підземні води. За температурою виділяють наступні види підземних вод: виключно холодні ( $< 0^{\circ}\text{C}$ ); помірно холодні ( $4-20^{\circ}\text{C}$ ); теплі ( $20-37^{\circ}\text{C}$ ); гарячі ( $37-42^{\circ}\text{C}$ ); дуже гарячі ( $42-100^{\circ}\text{C}$ ); виключно гарячі ( $> 100^{\circ}\text{C}$ ). Термальні води мають температуру  $> 20^{\circ}\text{C}$ . За мінералізацією виділяють наступні типи підземних вод:

- несолоні (до  $1\text{‰}$ ); солоноваті ( $1-25\text{‰}$ ); солоні ( $25-50\text{‰}$ ); росоли ( $> 50\text{‰}$ ).

Розрізняють дві великі групи підземних вод: підземні води суші та підземні води, що розташовані під морями і океанами.

**3. Умови залягання підземних вод.** Підземні води суші - це підземні води зони аерації та зони насичення. В зоні насичення знаходяться підземні води трьох типів: безнапірні ґрунтові, напірні артезіанські, глибинні.

Зона аерації займає верхній шар від земної поверхні до рівня ґрунтових вод. В цій зоні відбувається інфільтрація дощових і талих вод, формування ґрунтових вод та верховодки, фільтрувальної гравітаційної води.

Дощова вода витрачається на формування ґрунтових вод, що уявляють тимчасове накопичення гравітаційної та капілярної води.

Води зони аерації, інфільтруючись вертикально вниз та зустрічаючи на своєму шляху водоупор, утворюють верховодку- тимчасові сезонні накопичення підземних вод. Потужність верховодки становить 0,4-1,0 м. Основні риси підземних вод цього типу – невтримність у вертикальному розрізі, непостійність у часі. У маловодні роки верховодка може зникнути.

Води зони насичення. Ґрунтові води. При повному насиченні ґрунту можуть бути утворені безнапірні води та напірні (артезіанські) води. Вологість ґрунту досягає повної вологоємності. Ґрунтові води - це підземні води першого від поверхні постійно існуючого водоносного горизонту, які живляться шляхом інфільтрації через зону аерації атмосферних осадів, а також від фільтрації вод водотоків. Основною їх особливістю є вільна безнапірна поверхня.

Відстань від земної поверхні до рівня ґрунтових вод називають глибиною залягання ґрунтових вод. Поверхня ґрунтових вод називається їх дзеркалом. Водонепроникні породи, які підстиляють ґрунтові води, називаються водотривом. Потужність водоносного пласта - це відстань між дзеркалом ґрунтових вод і водотривом. По території України глибина залягання ґрунтових вод коливається від 0,0-0,5 м до 10-20 м. Артезіанськими називають напірні підземні води, що залягають у водоносних горизонтах між водотривкими горизонтами. При розкритті буровими свердловинами вони піднімають вище від покрівлі водоносного пласта.

Глибинні води - це розташовані на великих глибинах напірні підземні води, які знаходяться під впливом геостатичного тиску та ендогенних сил.

**4. Рух підземних вод.** Рух підземних вод відбувається під дією капілярних сил, сил тяжіння та сил гідростатичного тиску.

В зоні аерації атмосферні осадки проникають у ґрунт шляхом інфільтрації. При вільному просочуванні рух води у ґрунті вертикально вниз відбувається під дією сили тяжіння та капілярних сил по капілярним порам, окремим каналцям, порожнини ґрунту залишаються ненасиченими водою. При нормальній інфільтрації рух води відбувається суцільним потоком під

дією сили тяжіння, гідростатичного тиску і капілярних сил; пори заповнюються водою повністю. В зоні насичення рух води відбувається під дією сили тяжіння та гідростатичного тиску. Гравітаційна вода по щілинам ґрунту рухається у бік похилої поверхні водоносного горизонту або у бік зменшення тиску. Цей рух називають фільтрацією.

Згідно закону Дарсі кількість води ( $Q$ ), яка просочується через породу за одиницю часу, прямо пропорційна коефіцієнту фільтрації  $K$ , падінню напору  $h$ , площі поперечного перетину породи  $F$ , та обернено пропорційна довжині шляху фільтрації  $l$ :

$$Q = K h F / l \quad (1)$$

Відповідно до характеру пористості порід існує два види руху підземних вод – ламінарний і турбулентний.

Ламінарний рух спостерігається у породах з малими порами. Він повністю підлягає закону Дарсі, з якого виходить, що швидкість фільтрації при ламінарному русі прямо пропорційна коефіцієнту фільтрації, напірному градієнту:

$$V_{\phi} = V = K_{\phi} \cdot J, \quad (2)$$

де  $V_{\phi}$  - швидкість фільтрації, м/доб, мм/хв, см/с;  $K_{\phi}$  - коефіцієнт фільтрації;

$J$  - гідравлічний ухил.

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Яку температуру мають підземні води?
2. Яким чином утворюються підземні води?
3. Як рухаються підземні води в зоні аерації та зоні насичення?
4. Назвіть зони циркуляції підземних вод у вертикальному розрізі закарстованих порід.
5. Які типи водного режиму виділяють в зоні аерації?

## Лекція 6. Гідрометрія – спостереження за рівнем води та криготермічним режимом річок

**Мета лекції:** вивчення показників точності вимірювань, засвоєння принципів організації та обладнання гідрологічних постів, отримання теоретичних знань для проведення спостереження за рівнем та поздовжнім похилом річок, ознайомлення із принципами спостереження за температурним та криготермічним режимами річок.

### План

1. Предмет гідрометрії. Система гідрологічних спостережень. Показники точності вимірювань.
2. Організація та обладнання гідрологічних постів.
3. Спостереження за рівнем та поздовжнім похилом річок.
4. Спостереження за температурним та криготермічним режимами річок.

**1. Предмет гідрометрії. Система гідрологічних спостережень. Показники точності вимірювань.** Сучасна гідрометрія визначається як вимірююча частина гідрології, яка вивчає методи спостережень за водними об'єктами, рухом води і наносів, прилади та пристрої для вимірювання, способи обробки результатів спостережень. Вивчення та розрахунки повинні виконуватись при урахуванні динамічних умов гідрологічних процесів.

Система гідрологічних спостережень (СГС) забезпечує отримання, збір, обробку гідрологічної інформації про склад, режим, та характеристики водних об'єктів. СГС утворюють гідрологічні станції (ГС) та гідрологічні пости (ГП), а їх сукупність - гідрологічну мережу спостереження.

Основні гідрологічні пости розділяються на **реперні**, призначені для вивчення багаторічних коливань гідрологічного режиму; **періодичні**, які складають основну масу постів і забезпечують територіальну деталізацію характеристик гідрологічного режиму, мають обмежений термін дії; **режимні**, отримані на них дані публікуються у виданнях Державного водного кадастру; **інформаційні**, які поставляють свідчення про стан водних об'єктів та елементів їх режиму.

Розрізняють наступні похибки вимірювань: інструментальні, що зумовлені похибками приладів, які використовуються; похибки методу, що відбуваються від недосконаленості методів, що використовуються. За своїми статистичними властивостями похибки проявляються як випадкові або

систематичні. Випадкова похибка – це складаюча похибки вимірювань, які змінюються випадково при повторних вимірюваннях однієї та тієї ж величини. Систематична похибка – залишається постійною або змінюється закономірно при повторних вимірюваннях однієї й тієї ж величини.

**2. Організація та обладнання гідрологічних постів.** Гідрологічний пост – пункт по водному об'єкті, який обладнаний улаштуваннями та приладами для проведення систематичних гідрологічних спостережень. Ділянка спостережень повинна бути характерною для достатньо великої протяжності ріки, на ній повинні бути відсутніми фактори, які порушують плавність течії (або деформації русла, або наявність значної рослинності, затори криги, перемінний підпір, тощо).

Рекогносцировка – це експедиційне дослідження ділянки ріки для вибору сприятливого для спостережень місця та оцінки діапазону змін характеристик гідрологічного режиму: рівнів води, глибини, швидкості течії, мутності, умов утворення криги. Ці дослідження проводяться при найнижчому та найвищому рівня х води у річці.

Найбільш трудомісткий етап рекогносцировки – топографічна зйомка ділянки та висотне обґрунтування гідрологічного поста.

Топографічна зйомка – сукупність геодезичних вимірювань, які виконують для складання плану місцевості.

Після закінчення зйомки оформлюється топографічний план ділянки та поперечні профілі русла. Після нанесення всіх елементів ситуації (шляхів, мостів, берегових споруд) на плані та профілі позначають розташування постових споруд і улаштувань. Потім виконують горизонтальну прив'язку, нівеліровку знаків та реперів.

Як знаки закріплення зйомочних мереж довготривалого типу застосовують:

- бетонні пілони (ставки) розміром 12×12×90 см (рис. 2.1 а);
- залізобетонні труби діаметром 35...60 мм, шматки рельсу (рис. 2.1 б);
- дерев'яні стовпи діаметром 15 см з хрестовиною, яка опирається на бетонний моноліт (рис. 2.1 в).



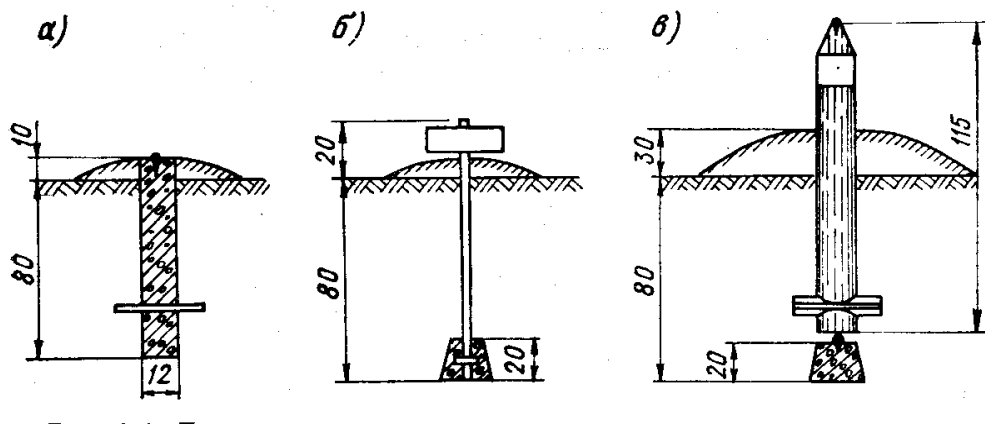


Рисунок 1 – Довготривалі знаки закріплення зйомочних мереж

а) бетонний пілон; б) шматок залізної труби, рельса або кутового заліза з бетонним монолітом; в) дерев'яний стовп з хрестовиною на бетонному моноліті

Особливе значення має контроль дійсності висотного розташування “нуля спостережень”. Одночасно з нівелюванням постових улаштувань нівелюється рівень води у створі поста. Для цього забивають кіп врівень з поверхнею води.

**3. Спостереження за рівнем та поздовжнім похилом річок.** В багатьох випадках рівень заміряють двічі на добу: вранці о 8.00 та ввечері о 20.00 як в зимовий, так і в літній періоди. При незначних і плавних коливаннях припустимо заміряти рівні 1 раз на добу – о 8.00. Під час водопіль, паводків, випусків із водосховищ, заторів рівні заміряють через кожні 2-4 години, або виконується безперервна реєстрація. Висота рівнів на неавтоматизованих постах заміряється з похибкою в 1 см. Якщо рівні води виміряють для визначення ухилів водної поверхні, напору на гідрологічних витратомірах, об'ємів акумуляції води у водосховищах похибка вимірювань не повинна перевищувати 2-3 см. Найпростіше висоту рівня визначати при використанні реєчних улаштувань. Для цього відраховується позначка рейки, найближча до поверхні води. На свайному улаштуванні висота рівня води виміряється за допомогою переносної рейки, яка ставиться вертикально на затоплену сваю, яка найближча до берега.

Середній добовий рівень визначається за формулою:

$$H = a_1 H_{8.00} + a_2 H_{20.00} , \quad (1)$$

де  $H_{8.00}$ ,  $H_{20.00}$  – значення рівнів води, які вимірені о 8.00 та о 20.00 відповідно, м;  $a_1 = a_2 = 0,5$

В залежності від конструкції улаштування для спостереження за рівнем води розділяють на прості (реєчні, свайні, реєчно-свайні та передаточні) і автоматизовані. Реєчні улаштування складаються з однієї або декількох дерев'яних або металевих рейок, які закріплюють на стінках набережних, устоях гребель та мостів (рис. 2.2 а). Якщо пост влаштовується в зоні неукріпленого берега, рейка встановлюється на вбитих окремих сваях (рис. 2.2 б), або на декількох, скріплених між собою сваях (рис. 2.2 в). Свайне улаштування складається із свай, що забиваються в одному створі. Свай виготовляють із різних матеріалів: дерева, метала, залізобетона. В ґрунт свая завинчується за допомогою спеціального ключа, так, щоб над поверхнею води залишалась лише її головка. Висота рівня на спайних улаштуваннях заміряється переносними реї

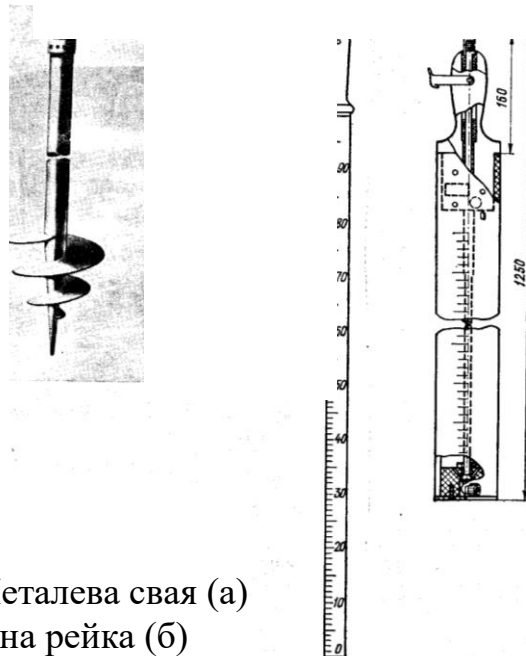


Рисунок 2 – Металева свая (а)  
та переносна рейка (б)

Змішані реєчно-свайні улаштування встановлюють на різких переломах у профілі берега до найближчого окремого створу.

Ухили водної поверхні виміряють геодезичними методами за різницею позначок рівня на сумісних постах; верхньому за течією ( $Z_B$ ) та нижньому ( $Z_H$ ):

$$J = (Z_B - Z_H) / L , \quad (2)$$

де  $L$  – відстань між гідрологічними постами, м.

Ділянка для визначення місцевого ухилу повинна бути такою, щоб в її межах зберігалась призматичність русла або однозначне та повільне змінення площі живого перетину. Базис L для визначення місцевого ухилу повинен знаходитись в межах морфологічно однорідної ділянки, для якої характерна однотиповість руслових утворень.

#### **4.Спостереження за температурним та криготермічним режимами річок.**

Коливання температури води у водоймах виникають в результаті теплообміну між її масою та навколишнім середовищем – повітрям та дном. Ділянка для вимірювання температури води вибирається поблизу поста в прибережній частині у проточному місці з глибиною 0,3...0,5 м. До місця заміру температури не повинні підходити струмини підземних джерел, стічні води.

Якщо ширина ріки менша 10м, температура води заміряється на стрижні, при невеликих глибинах – в самому глибокому місці ріки.

Водяним термометром замірюють температуру з похибкою  $\sigma=0,1^{\circ}\text{C}$ . Мікротермометр дозволяє відряховувати значення температури з похибкою до  $0,01^{\circ}\text{C}$  в діапазоні від  $-0,8^{\circ}$  до  $+1,2^{\circ}\text{C}$ . Використовується на шугоносних ріках восени та навесні при температурі, близькій до нуля. Електротермометри дозволяють виконувати дистанційний замір температури. Температура води заміряється з похибкою  $\sigma=0,1^{\circ}\text{C}$  в діапазоні від  $-1$  до  $+20^{\circ}\text{C}$  та  $\sigma=0,2^{\circ}\text{C}$  в діапазоні  $+20...+40^{\circ}\text{C}$ .

Спостереження проводяться на протязі всього зимового періоду. Довжина ділянки спостережень на малих ріках приймається не менше 200-500 м, на середніх та великих ріках – від 0,5 до 5 км. При проведенні спостережень за товщиною криги та снігу на ній виконують заміри товщини снігу на кризі, загальної товщини криги, глибини занурення криги, глибини занурення шуги, товщини шару води на кризі. Для заміру товщини криги застосовують криговий бур та криговимірювальну рейку.

Криговий бур ГР-113 – призначається для ручного буріння отворів у криговому покриві. Бур складається із ріжучої головки, шнеку та рукоятки, утворює лунки глибиною до 120 см, діаметром – до 7,5 см. Застосовується також механічний криговий бур ГР-114.

Криговимірвальна рейка виготовляється із сталеві смуги, яка розділяється на сантиметри.

Радіолокаційний вимірвач “Метелиця”, розміщений на снігоході, – ефективний агрегат для виконання великої кількості замірів. Дія агрегату заснована на принципі радіолокації з визначенням різниці часу затримки електромагнітних хвиль, які випромінюються від верхньої та нижньої поверхні кригового покриву. Діапазон вимірювань 15...30 см, похибка 8...10%.

Шуга – це рихлі скопичення в внутрішній криги, дрібно шматкової криги заберегів. Кількість шуги можна визначити стандартним шугобатометром ГР-3М. Він представляє собою трубу з квадратним перетином площею 100 см<sup>2</sup>, довжиною 50 см. Нижній кінець виконується у вигляді сталевих башмака з гострими кінцями. Для утримання шуги низ шугобатометра має дверцята, які відкриваються всередину приладу. Для вимивання води стінки та дверцята приладу мають отвори. Батометр вертикально занурюють в шар пливучої шуги, в ній вирізається стовпчик площею 100 см<sup>2</sup> з висотою, яка дорівнює товщині шару шуги. Шугу висипають у відро та зважують з точністю до 50 г.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- 1.Що вивчає наука гідрометрія?
- 2.Які похибки вимірювань існують та чим вони зумовлені?
- 3.Які види вимірювань застосовують в гідрометрії?
- 4.Як правильно вибрати місце для улаштування гідрологічного поста?
- 5.Які прилади застосовують для вимірювання температури води?

## Лекція 7. Вимірювання глибин

**Мета лекції:** ознайомлення з особливостями застосування приладів для вимірювання глибин, засвоєння способів виконання промірних робіт, засвоєння методів обробки матеріалу промірних робіт.

### План

1. Прилади та обладнання для вимірювання глибин.
2. Способи виконання промірних робіт.
3. Обробка матеріалу промірних робіт.

**1. Прилади та обладнання для вимірювання глибин.** Застосовуються наступні методи промірних робіт: проміри глибин в окремих точках на промірних вертикалях; метод безперервного запису ліній дна.

В першому випадку глибини замірюють промірними приладами, координати промірних точок визначають геодезичними методами. У другому – застосовують ехолоти, які встановлюють на промірному судні, координування виконують радіо геодезичними засобами.

При вимірюванні глибин для складання поздовжнього профілю рівень може неоднократно змінюватися, тобто глибини, заміряні у різний час, можуть не мати співвідношення між собою. Тому всі вимірювання глибин приводять до одного рівню (умовного), відповідного визначеному моменту часу.

### Прості прилади

Намітка представляє собою дерев'яний шест круглого перерізу діаметром 4-6 см, довжиною 5-7 м. Ніжний кінець зароблюється у дерев'яний башмак, який допомагає своєю вагою занурити намітку у воду. Намітку розмічають на десяти долі метра, нульова позначка співпадає з нижньою поверхнею башмака. Похибка вимірювання складає  $\sigma = 2-5$  см. Лот ручний представляє собою металевий вантаж масою  $m = 2-5$  кг, який підвішують на попередньо розтянутій мотузці, розміченій на  $m$  і дм. Лот промірний ЛПР-48 має масу  $m = 4,5$  кг, діаметр  $d = 56$  мм, довжину  $L = 355$  мм, розрахований на проміри глибин на річках з глибиною до 25 м, у водоймах без течій - до 100 м. Прилад закидають уперед проти течії, відрахунок починають з моменту,

коли вантаж опиняється на дні, а канат розтягується вертикально. Похибка вимірювання складає  $\sigma = 5-10$  см.

### Гідрометричні лебідки та вантажі

Лебідки гідрометричні ПИ-23 (“Нева”), ПИ-24 (“Луга”) збирають в основному з однакових частин; “Нева” – призначена для застосування з гідрометричного містка, “Луга” – з човна. Лічильники лебідок вказують довжину зануреної частини тросу з похибкою в 1 см та мають улаштування для скиду відрахування і встановлення на “нуль”. Довжина тросу на лебідках 22 м. Вантажоспроможність “Неви” – 50 кг, “Луги” – 30 кг. Застосовують також інші типи лебідок. Гідрометричні вантажі мають обтікаєму форму, обладнані стабілізатором направлення та вертлюгом, який забезпечує вільне обертання вантажу та встановлення його по направленню течії. Маса вантажу підбирається в залежності від швидкості течії таким чином, щоб кут нахилу канату не перевищував  $10^\circ$ .

Ехолоти – прилади, дія яких заснована на гідроакустичному способі вимірювання глибин. Розрізняють навігаційні, рибопошукові, промірні ехолоти. Для пошукових робіт застосовують промірні ехолоти.

Час розповсюдження ультразвукового імпульсу у воді пропорційний глибині. Ця залежність використовується для визначення глибини за допомогою механічних та електричних розвертаючих приладів. Розрахунковою швидкістю розповсюдження звуку у воді приймається швидкість 1500 м/с.

**2. Способи виконання промірних робіт.** Для кожної промірної точки при проведенні промірів необхідно визначити: глибину; планові координати; позначку рівня води. Застосовують наступні способи визначення координат: по натягнутому тросу уздовж створу від постійного початку до урізу води; засічками промірних точок з берега за допомогою теодоліта; засічками секстаном з промірного судна орієнтирів на березі; радіогеодезичними методами. В залежності від поставленої задачі та місцевих умов промірні ходи розташовуються: 1) за поздовжніми профілями; 2) за косими галсами; 3) за поперечними профілями; 4) змішаним способом.

Проміри за поперечними профілями виконуються для визначення площі водного січення. Якщо ширина річки до 300 м, проміри виконують за

натянутим тросом. Для проміру глибин до 3 м користуються штангою; при більших глибинах – наміткою. Проміри з засічками з берега виконують геодезичними приладами – теодолітом або кіпрегелем на мензулі.

Після проведення підготівельних робіт (прокладання магістралі, розбивки поперечників) вибирають на магістралі та позначають на плані стоянку кутомірного інструменту так, щоб кут між направленням поперечника та променем візурування був не менше  $30^{\circ}$  (рис. 2.3 а). При проведенні промірів із засічками двома приладами, останні встановлюються на кінцях базиса (рис. 2.3 б).

### Проміри за косими галсами та поздовжніми профілями

Косими галсами називають поперечники, які утворюються промірним судном, що рухається уперек річки та відносяться течією. В середній частині ріки швидкість течії більша, ніж у берегів, тому віднесення судна біля берегів менше, ніж на стрижені.

Проміри за косими галсами застосовують при значних швидкостях течії, коли важко утримати судно на лінії створу. При проведенні промірів за косими галсами (рис. ,1. а), судно перетинає річку під кутом  $15^{\circ}$ - $30^{\circ}$ . При більшій ширині ріки застосовують систему перехресних косих галсів. Засічки положення промірних точок на галсі виконують з базису двома кутомірними приладами.

При значних глибинах та великих швидкостях течії застосовують спосіб промірів за поздовжніми профілями. Глибини звичайно вимірюють лотом, положення промірних точок визначають засічками з базису двома кутомірними приладами (рис. 1, б).

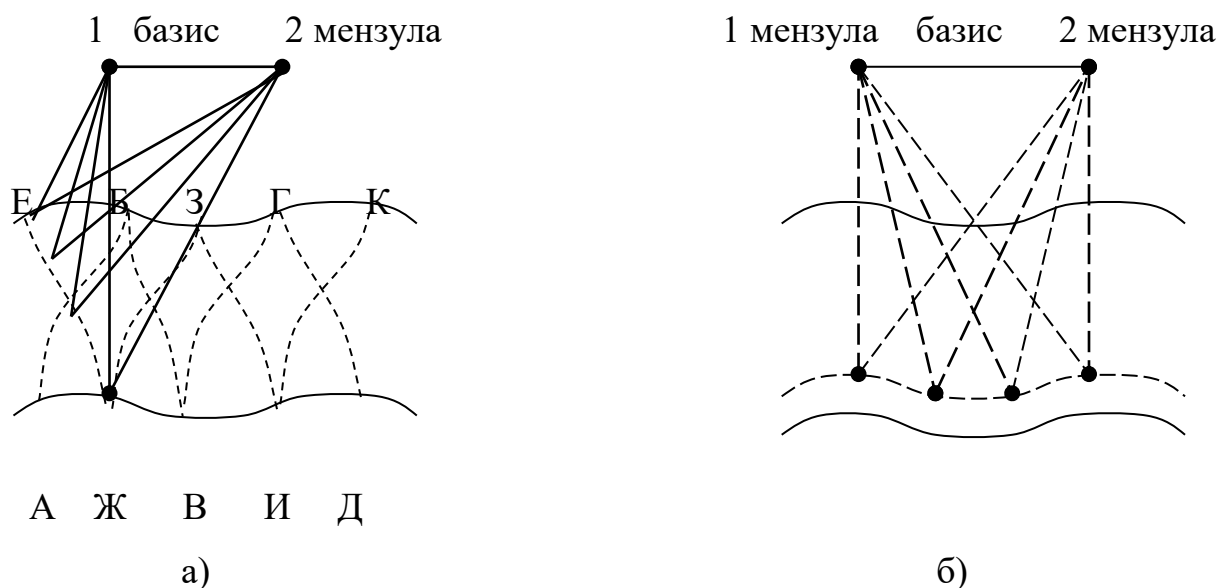


Рисунок 1– Схема промірів : а) за косими галсами; б) за поздовжниками

**3. Обробка матеріалу промірних робіт.** Обробка результатів промірів передбачає наступні дії : виконується перевірка кількості і нумерації промірних точок за даними журналу та засічок на мензульному планшеті; при виконанні промірів за поперечними профілями для кожної точки встановлюється на планшеті відстань від постійного початку; розраховується середня глибина, якщо промір виконувався за 2 рази; вводяться поправки у виміряему глибину із врахуванням відносу лота; встановлюються позначки рівня на початку і в кінці проміру; для всіх промірів розраховують позначки дна; перевіряють записи, що характеризують ґрунт дна, при зимових промірах – записи товщини снігу, криги шуги.

**4.**

#### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. З якою метою виконуються промірні роботи?
2. Які способи виконання промірних робіт вам відомі?
3. Яким чином встановлюються координати промірних точок?
4. В яких випадках виконуються проміри глибин за косими галсами?
5. Як обробляються матеріали промірних робіт?



## Лекція 8. Вимірювання швидкості течії в руслових потоках

**Мета лекції:** ознайомлення з методами вимірювання швидкості течії води, засвоєння особливостей застосування гідрометричних вертлюгів, засвоєння принципів розрахунку швидкості течії з урахуванням обладнання, що застосовується.

### План

1. Методи вимірювання швидкості течії води.
2. Гідрометричні вертлюги.
3. Гідрометричні поплавки.

**1. Методи вимірювання швидкості течії води.** Існує багато методів вимірювання швидкості течії. Розглянемо методи, які використовують в гідрометрії.

Метод, заснований на реєстрації числа обертів лопатевого гвинта. При вимірюванні реєструється число обертів лопатевого гвинта та тривалість вимірювання. Для реєстрації числа обертів використовують перетворювач обертового руху в електричний сигнал, який надходить до реєструючого улаштування. Значення швидкості визначається за спеціальною таблицею або графіком.

Метод, заснований на реєстрації швидкості тіла, що пливе. Для вимірювання швидкості застосовують поплавки поверхневі або глибинні. Швидкість течії приймається рівній швидкості – руху поплавка.

Метод, заснований на реєстрації швидкісного напору. Використовуються гідрометричні трубки різних конструкцій. Швидкість визначається в залежності від швидкісного напору, трубка вводиться у потік отвором до течії. Значення швидкості визначається за висотою підйому рівня у трубці.

Метод, заснований на застосуванні ультразвуку. При розповсюдженні ультразвукових коливань у середовищі, що рухається, швидкість ультразвуку відносно нерухомої системи координат дорівнює векторній сумі швидкості звуку і самого середовища. Швидкість течії визначається за різницею часу розповсюдження ультразвукової хвилі за течією та проти течії.

Метод, заснований на принципі теплообміну застосовуються у приладах, в яких робочим органом служить нагрітий елемент, що вводиться у потік. Швидкість течії визначається в залежності від швидкості охолодження елемента.

Безконтактні методи. Особливістю таких методів є можливість вимірювання швидкості без уводу у потік вимірювальних приладів, які порушують швидкісне поле (застосування індукційних витратомірів, лазера, тощо).

**2.Гідрометричні вертушки.** Винахід гідрометричної вертушки належить німецькому гідротехніку Р.Вольтману. Вертушки класифікують наступним чином: по направленню вісі обертів ротора – з горизонтальною та вертикальною віссю (ГР-21М; вертушка Прайса (США); в залежності від улаштування лопатевого ротору: з лопатевим гвинтом, утвореним гвинтовою поверхнею; з ротором із конусних чашок.

Робота вертушки визначається взаємодією потоку і приладу. При вимірюванні швидкості використовують залежність між числом обертів лопатевого ротору в секундах та швидкістю течії. Якщо б не було тертя, ця залежність мала б вигляд:

$$u = R_r \cdot n , \quad (2.4)$$

де  $U$  – швидкість течії;  $R_y$  – геометричний шаг гвинта;  $n$  – число обертів, об.

В результаті дії гідравлічних та механічних опорів (гідравлічні пояснюються тертям води, порушенням швидкісного поля потоку; механічні - тертям в механізмі приладу) залежність має вигляд:

$$u = an + \sqrt{bn^2 + c} , \quad (2.5)$$

де  $a, b, c$  – параметри.

При вимірюванні швидкості течії гідрометрична вертушка опускається у воду за допомогою штанги або троса (штанга має діаметр  $d=27$ мм, довжину 1...3м, застосування штанги обмежується її швидкістю та глибиною: при швидкостях більше, ніж 1,5 м/с та глибині більшій за 2м

працювати важко). Для опускання на тросі (на канаті) використовують лебідки та гідрометричні вантажі. Вимірювання виконується двома способами – точечним та інтеграційним. Точений спосіб передбачає вимірювання швидкостей течії в окремих точках потоку, після чого будують епюри швидкостей на вертикалях та горизонтальних перетинах, а також ізотахи в поперечних перетинах потоку. Інтеграційний спосіб застосовують при визначенні витрат води. Інтеграцію швидкостей виконують по вертикалі, по горизонталі та по живому перетину потоку.

При вимірюванні швидкості по вертикалі вертушку рівномірним рухом опускають від поверхні до дна і потім підіймають без зупинки з тією ж швидкістю. Середня швидкість відповідає сумарному числу обертів гвинта, поділеного на час вимірювання – це число обертів за секунду. При опусканні вертушки лопатевий гвинт переходить із шарів води з більшими швидкостями в шари води з меншими швидкостями, при цьому отримують завищені значення швидкості. Під час підняття вертушки, навпаки, замірена швидкість буде заниженою.

**3. Гідрометричні поплавки.** Метод заснований на реєстрації швидкості тіла, що пливе. Поплавок, який пливе за течією, рухається швидше частин рідини, яка оточує його внаслідок існування неурівноваженої проекції ваги тіла на вісь руху  $G$  :

$$G_x = \rho \cdot g \cdot V \cdot \sin \alpha , \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина тіла;  $V$  - об'єм;  $\alpha$  - кут нахилу водної поверхні.

Швидкість тіла, яке занурюється у потік, спочатку збільшується від нуля до значення, рівного швидкості навколишніх часточок води. Потім тіло обганяє їх, поки сила опору не урівноваже силу, яка рухає тіло. Після цього рух тіла продовжується зі швидкістю, яка перевищує швидкість потоку. Значення цього завищення залежить від маси тіла, його форми та ухилу.

Поверхневі поплавки – виготовляють із шматків сухого дерева діаметром 15-30 см товщиною 3-5 см. Для вимірюванні швидкості на річках шириною 100-300 м, поплавки виготовляють у вигляді хрестовин з вантажем

Глибинні поплавки застосовують для вимірювання швидкостей на глибині, вони складаються із двох зв'язаних поплавків, верхній розташований на поверхні, нижній – на заданій глибині .

#### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які види руху води розрізняють в русловому потоці?
2. Назвіть методи вимірювання швидкості течії.
3. За допомогою яких приладів та улаштувань вимірюють швидкість течії?
4. Як визначається швидкість течії за допомогою глибинних поплавків та поплавків-інтеграторів?
5. Як визначити швидкість течії за допомогою вертушки?

## Лекція 9. Вимірювання витрат води

**Мета лекції:** ознайомлення з методами вимірювання витрат води, засвоєння методу «швидкість-площа» для вимірювання витрати водного потоку, засвоєння кількісних характеристик термічного і кригового режиму річок, усвідомлення методів прискореного вимірювання витрат води.

### План

1. Методи вимірювання витрат води.
2. Вимірювання витрат води методом “швидкість-площа”.
3. Вимірювання витрат води поплавками.
4. Методи прискореного вимірювання витрат води.

**1. Методи вимірювання витрат води.** Витрата води визначається як середній за час вимірювання об’єм води, який проходить через поперечних перетин потоку за одну секунду.

Витрата води геометрично представляється як об’єм водного простору, обмежений між вертикальною плоскістю живого перерізу і поверхнею, яка проходить через кінці векторів швидкостей течії. Це водяне тіло називається гідрометричною моделлю витрати води. Застосовуються наступні методи вимірювання витрат води.

Метод “швидкість – площа” заснований на вимірюванні поперечного перерізу потоку та швидкості течії в точках або інтегрально на вертикалях.

Метод змішування із вводом у потік індикаторів і визначенням ступеню їх розбавлення.

Гідравлічні методи, які реалізуються за допомогою спеціальних витратовимірювальних улаштувань.

Об’ємний метод, заснований на фіксації часу наповнення мірних ємностей.

Фізичні методи – з використанням ультразвуку, електромагнітної індукції, тощо.

Внаслідок змінності гідравлічних елементів у часі і просторі витрату не можна визначити за допомогою прямих вимірювань. Значення витрати можна отримати в результаті вимірювання відстані, глибин та швидкостей потоку. На їх основі витрати води можна визначити різним чином, тому має місце поняття математичної моделі витрати води – як форми аналітичного уявлення про сукупність елементів водного потоку.

Метод “швидкість – площа” – різновидність дотичних вимірювань, при яких значення витрати представляється через інтеграл швидкості:  $Q = \int v dF$ . Якщо дискретизація витрат проводиться за елементарними витратами  $q = vh$ , то інтеграл має вигляд:

$$Q = \int_0^B v h db, \quad (1)$$

де  $v$  – середня швидкість на вертикалі глибиною  $h$ .

Основний елемент моделей витрат – часткові витрати  $q_s$ :

$$Q = \sum_{s=1}^N q_s. \quad (2)$$

Моделі витрат відрізняються за формою інтерполяції елементів витрат води. Відомі такі детерміновані моделі:

1) Модель Гарляхера:

$$Q = \sum_{s=1}^N 0,5(q_i + q_j) b_s, \quad (3)$$

де  $q_i, q_j$  - елементарні витрати через граничну  $i$ -у та  $j$ -у вертикалі;

$b_s$  - ширина відсіку.

2) Середньосекційна модель:

$$Q = \sum_{s=1}^N 0,25(v_i + v_j)_s \cdot (h_i + h_j)_s \cdot b_s \quad (4)$$

3) Центральносекційна модель:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=N-1} 0,5 \cdot v_i \cdot h_i (b_s + b_{s+1}) \quad (5)$$

4) Модель, яка застосовувалась в колишньому СРСР:

$$Q = \sum_{s=1}^N 0,5(v_i + v_j) S f_s. \quad (6)$$

Гідрометричні створи обладнують гідрометричними дистанційними установками, які застосовують для вимірювань витрат води на річках шириною до 100 м, глибиною до 12 м и швидкостями течії до 5 м/с (рис. 2.18).

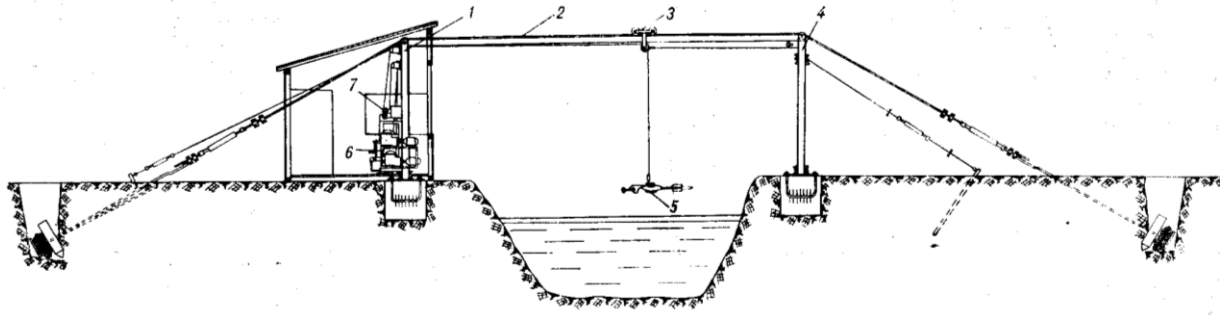


Рисунок 1 - Гідрометрична дистанційна установка ГР-64

1, 4 – берегові опори, 2 – сталеві канати, 3 – каретка, 5 – вертушка з вантажем, 6 – лебідка з електроприводом, 7 – блок-лічильник

Звичайні вимірювання витрат води (без дистанційних установ) найбільш зручно виконувати із залізничних та автомобільних мостів. Гідро створ розташовують з низового боку моста, кожний прокат моста розглядається як окрема частина русла, в якій призначають не менше 3 швидкісних вертикалей.

Вимірювання витрат з човнів вимагає особливих заходів безпеки (рис.2).

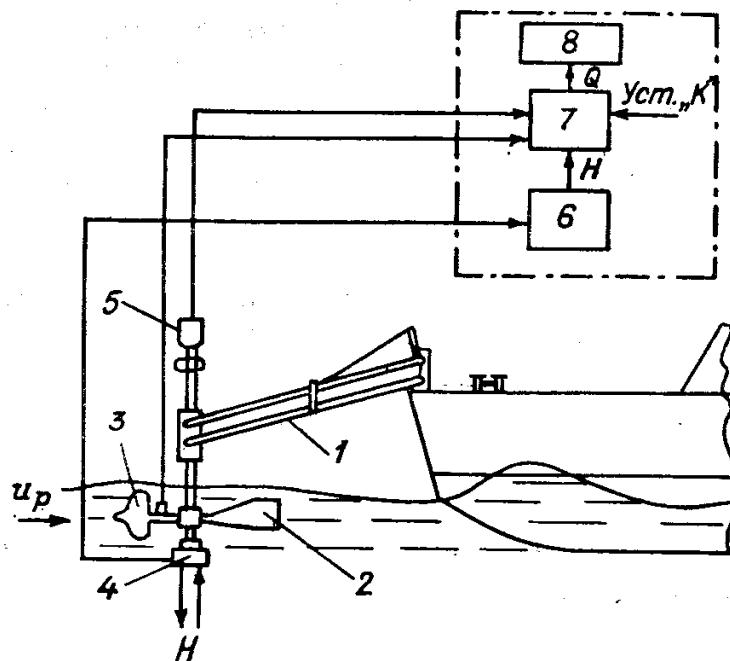


Рисунок 2 - Комплект обладнання і приладів для замірів витрат води із судна, що рухається

1 – конструкція для занурення приладів у потік; 2 – перогідрофлюгера; 3 – вимірювач швидкості течії; 4 – гідрофон ехолоту; 5 – індукційний датчик кута; 6 – апаратура для реєстрації глибин; 7 – лічильник витрати води; 8 – цифровий індикатор витрати.

2. **Вимірювання витрат води методом “швидкість-площа”**. Існують декілька варіантів методу “швидкість-площа”:

- багатоточечний (детальний), при якому в гідростворі призначають 10-15 швидкісних вертикалей, швидкість вимірюють на кожній вертикалі в п’яти та більше місцях;
- основний, коли число швидкісних вертикалей зменшують у 1,5-2 рази, швидкість потоку на кожній вертикалі вимірюють в 2 або 3 точках;
- прискорений.

Для виміру глибин **промірні вертикалі** призначають через рівні відстані у кількості 20-35. З появою шуги глибини проміряють при кожному визначенні витрати води. Під час кригоставу вимірюють відстані від постійного початку до урізу нижньої поверхні криги. Уріз поверхні води встановлюється по профілю. На промірних вертикалях вимірюється глибина занурення криги та шару шуги з похибкою відповідно 1 та 10 см.

Головна вимога до розміщення **швидкісних вертикалей** полягає в тому, щоб відсіки між ними пропускали рівні долі загальної витрати води. Для визначення положення вертикалей вимірюють витрати при збільшеній їх кількості, викреслюють поперечний профіль русла та будують інтегральну криву часткових витрат в долях від загальної витрати  $q_s = q_s / Q$  (рис. 2.20).

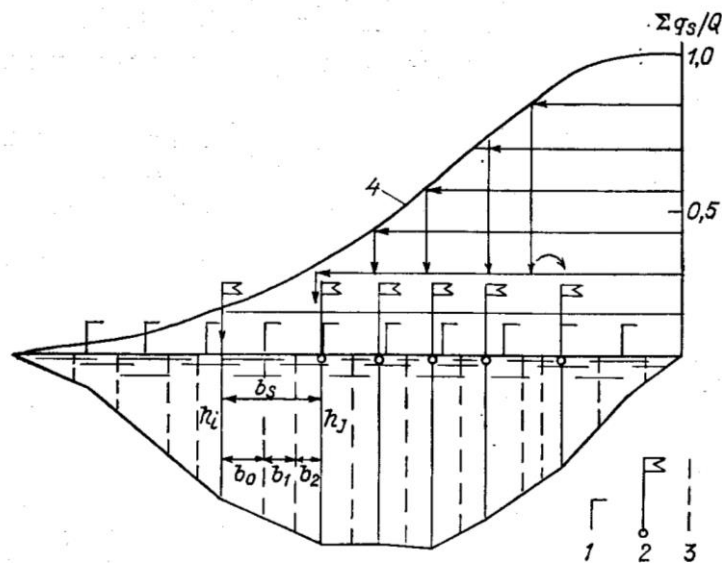


Рисунок 3 - Уточнення розташування швидкісних вертикалей  
 1 – рівномірне розташування вертикалей по ширині; 2 – оптимальне розташування вертикалей; 3 – промірні вертикалі; 4 – інтегральний графік початкових витрат води



Необхідно, щоб розташування швидкісних вертикалей співпадало з місцями перелому поперечного профілю русла, щоб одна із вертикалей знаходилась на стрезені ріки.

Робочою глибиною вертикалі при вільному від криги руслі вважається відстань від дна до поверхні води, при наявності криги – відстань від дна до нижньої поверхні криги.

При багатоточечному способі швидкості вимірюють:

- якщо русло вільне від водної рослинності та криги в 5 точках: у поверхні води; на 0,2; 0,6; 0,8 робочої глибини та біля дна;
- при наявності водної рослинності та під криговим покривом до 5 точок додається шоста – на 0,4 робочої глибини;
- при наявності водної рослинності та під криговим покривом до 5 точок додається шоста – на 0,4 робочої глибини.

При основному та прискореному способах швидкість вимірюють:

- у вільному руслі та при наявності кригового покриву у двох точках 0,2 та 0,8 робочої глибини, якщо глибина недостатня – в одній точці на 0,6 або 0,5 робочої глибини;
- одноточечні вимірювання швидкості виконують на 0,6h – при вільному руслі; 0,5h – при наявності криги або водної рослинності.

Спостереження за рівнем води виконують на протязі всього періоду вимірювання витрат води: на початку та в кінці проміру глибин, перед початком та в кінці проміру глибин, перед початком та в кінці вимірювання швидкостей течії. Витрата води визначається за даними оброблених вимірених значень елементів.

1. Визначається площа відсіків між швидкісними вертикалями:

$$f_s = 0.5 (h_0+h_1) b_0 + 0.5 (h_1+h_2) b_1 + \dots + 0.5 (h_{N_s}+h_k) b_{N_s}, \quad (7)$$

де  $N_s$  – кілька промірних вертикалей;

$h_0, h_1, h_n$  – значення глибин;

$b_0, b_1, b_{N_s}$  – відстань між промірними вертикалями.

2. Середня швидкість на вертикалях  $v_b$  визначається за даними вимірювання швидкості течії в точках.

При одноточечних вимірюваннях за формулою:

$$v_b = \bar{U} \cdot 0,6 h \quad (8)$$

При двохточечних вимірюваннях:

$$v_b = 0.5 (U_{0.2h} + U_{0.8h}) \quad (9)$$

При вимірюванні у 3 точках

$$v_b = \frac{1}{36} (17 U_{0.2h} + 3 U_{0.6h} + 16 U_{0.8h}) \quad (10)$$

При вимірюванні у 5 точках

$$v_B = 0.05 U_0 + 0.347 (U_{0.2h} + U_{0.6h}) + 0.173 U_{0.8h} + 0.083 U_g \quad (11)$$

При наявності водної рослинності і криговому покриві – відповідно в 6, 3 і 2 точках:

$$v_B = 0.1 (U_n + 2 U_{0.2h} + 2 U_{0.4h} + 2 U_{0.6h} + 2 U_{0.8h} + U_g) \quad (12)$$

$$v_B = \frac{1}{3} (U_{0.15h} + U_{0.5h} + U_{0.8h}) \quad (13)$$

$$v_B = 0.5 (U_{0.2h} + U_{0.8h}) . \quad (14)$$

3. Середня швидкість у відсіку між швидкісними вертикалями:

$$v_s = 0.5 (v_i + v_j) . \quad (15)$$

4. Повна витрата води як сума часткових витрат дорівнює:

$$Q = k v_1 f_1 + 0.5 (v_1 + v_2) f_2 + \dots + (v_{n-2} + v_{n-1}) f_{n-1} + K_N v_{N-1} f_N \quad (16)$$

**3. Вимірювання витрат води поплавками.** Глибинні поплавки застосовують для вимірювання невеликих швидкостей течії (до 0,15 – 0,2 м/с), коли вимірювання вертушкою малонадійні.

Вимірювання витрат води поверхневими поплавками виконують при невеликому вітрі 2-3 м/с, на великих ріках – при швидкості вітру до 5 м/с. Вибирається прямолінійна ділянки ріки з однотиповими глибинами, шириною та повздовжнім ухилом водної поверхні на протяжності трьох-п'ятикратної ширини ріки. По берегу паралельно напрямленню течії прокладають магістраль та перпендикулярно до неї влаштовують 3 створа : верхній, середній і нижній. Тривалість ходу поплавків між крайніми створами повинна бути менша, ніж 20с. За 5-10 м вище від верхнього створу призначають пусковий створ, з якого пускають поплавки (15...20 штук). Вимірювання швидкості полягає у визначенні часу проходження ними відстані від верхнього створу та місць проходження через середній створ.

Перемножуючи площі відсіків між швидкісними вертикалями на напівсуму поверхневих швидкостей на них, отримують часткові фіктивні витрати  $Q_{\phi s}$ . Їх сума з урахуванням коефіцієнту дає повну фіктивну витрату  $Q_{\phi}$ . Повна витрата

$$Q = K \cdot Q_{\phi} , \quad (17)$$

де  $K$  – коефіцієнт

$$K = 0,77 + 0,043 \sqrt{\bar{C} - 3,8} , \quad (18)$$

де  $\bar{C} = C / g \geq 3,8$

$C$  - коефіцієнт Шезі;

$g$  - прискорення вільного падіння.

**4. Методи прискореного вимірювання витрат води.** Багатоточечні вимірювання вимагають багато часу, це може додавати додаткових похибок при паводках, випусках із водосховищ.

При використанні скорочених методів вимірювання зменшується кількість швидкісних вертикалей до 1-3. Існує два варіанта скорочених вимірювань.

- 1) застосування інтерполяційно-гідравлічної моделі витрати води;
- 2) використання його репрезентативних елементів.

Інтерполяційно-гідравлічна модель заснована на уявленні середньої швидкості на вертикалі у вигляді суми двох складових :

$$v_i = \tilde{v}_i + w_i \quad (19)$$

де  $\tilde{v}_i$  - компонента гідравлічно зумовленої глибиною на вертикалі.

Якщо ухил  $J$  та коефіцієнт шорсткості  $n$  незмінні за шириною потоку:

$$\begin{aligned} \tilde{v}_i &= ah_i^{2/3} \\ a &= \sqrt{I} / n \end{aligned} \quad (20)$$

$w_i$  – структурна складова середньої швидкості на вертикалі: Значення  $w_i$  не змінюються із зміною глибин, тому припустима їх інтерполяція:

$$w_s = 0,5(w_i + w_j) \quad (21)$$

І.Ф. Карасьовим та В.А. Ременюком синтезована інтерполяційно-гідравлічна модель витрат води:

$$Q = \sum_{s=1}^N \left\{ a_0 h_s^{\frac{2}{3}} + P_s \left[ v_i + v_j - a_0 \left( h_i^{\frac{2}{3}} + h_j^{\frac{2}{3}} \right) \right] \right\} f_s \quad (22)$$

де  $h_s$  – середня глибина у відсіку між вертикалями;

$P_s$  – коефіцієнт,  $P_s=0,7$  - для прибережних відсіків;  $P_s=0,5$  – для інших відсіків;

$a_0$  - коефіцієнт, значення якого дорівнює:

$$a_0 = \frac{I}{N_b} \sum \frac{v_i}{hl^{2/3}}, \quad (23)$$

де  $N_B$  – кількість швидкісних вертикалей.

Переваги інтерполяційно-гідравлічної моделі витрати води: виключення систематичної похибки – занижень витрат при скороченні числа швидкісних вертикалей.

Середня швидкість потоку  $v$  пов'язана з середньою швидкістю на вертикалі, яка називається репрезентативною швидкістю.

За репрезентативну швидкість приймають максимальну швидкість в поперечному січенні потоку або в точці стрезеневої вертикалі на глибині  $0,2h$ .

За даними багатоточечних вимірювань  $f(U_{кр})$  або  $f(U_{доп})$  будують залежності

$$\begin{cases} v_{cp} = a_0 + a_1 U_{макс} , \\ v_{cp} = a_0 + a_1 u_{0,2h} . \end{cases} \quad (24)$$

Внаслідок того, що коефіцієнт точки з максимальною швидкістю не залишається постійним, використовуються в якості репрезентативних середні швидкості на вертикалях, розташованих на відстанях  $0,2B$  і  $0,8B$  (рис. 2.21), де  $B$  – ширина річки. Розрахункове рівняння має вигляд:

$$Q = S \cdot v_{cp} \quad (25)$$

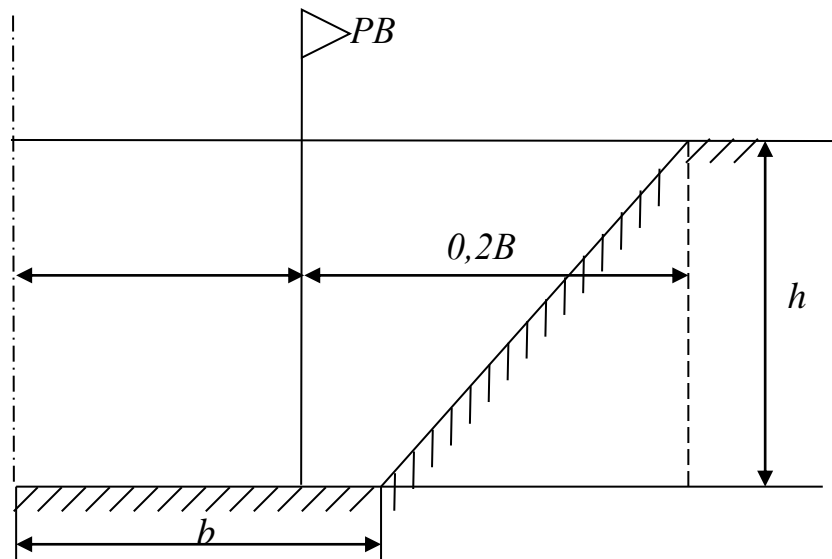


Рисунок 4 - Положення репрезентативної вертикалі

Метод ефективний при відносно великих витратах:

$$Q/Q_{\text{макс}} > 0,25,$$

де  $Q_{\text{макс}}$  - середня багаторічна максимальна витрата води.

Серед скорочених методів вимірювання застосовують також інтеграційні заміри із судна, що рухається, методи з використанням фізичних ефектів, аерогідрометричні методи [2].

**5. Вимірювання витрат води на малих водотоках.** Застосування методу – швидкість-площа на невеликих водотоках ускладнюється у зв'язку з малими глибинами, значною косоструминністю, нестійкістю дна і берегів. В таких умовах найкращі результати можна отримати при застосуванні контрольних русел та гідрологічних витратомірів.

Впорядкування природних русел передбачає роботи по їх сплануванню, закріпленню берегів, очищенні від каміння, сміття. Якщо ці заходи неефективні, треба будувати штучні русла (рис. 2.22).

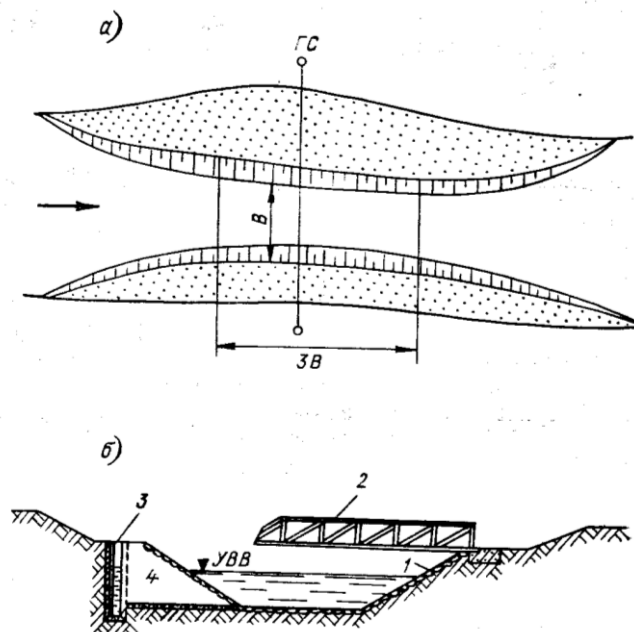


Рисунок 5 – Звуження русла (а) та контрольне русло (б)

1 – бетонний пояс; 2 – гідрометричний місток; 3 – колодязь самописця; 4 – з'єднувальна труба колодязя; 5 – підсіпка.

Водозлив – це перешкода на шляху потоку у вигляді вертикальної стіни або порогу, через який переливається вода. В залежності від товщини перешкоди та її форми повздовжнього профілю розрізняють водозливи з тонкою стінкою, широким порогом практичного профілю.

На рис. 2.23 показано трикутний водозлив з тонкою стінкою. Застосовується при значних коливаннях витрат води.

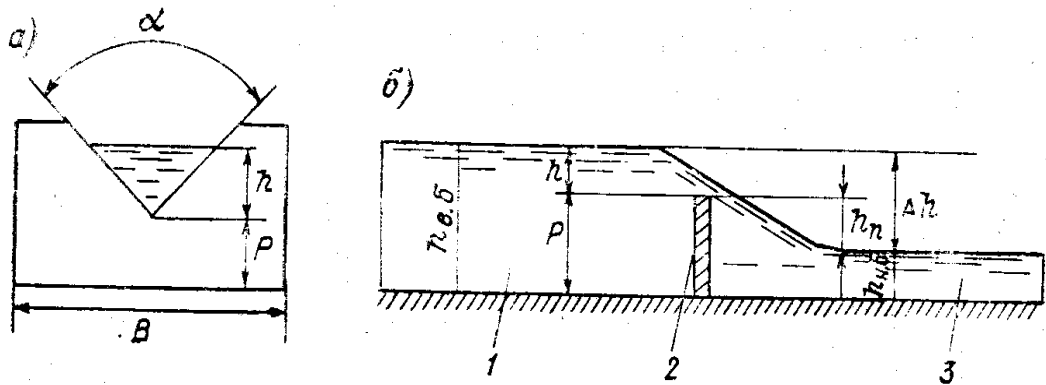


Рисунок 6 - Трикутний водозлив з тонкою стінкою

1 – канал (в.б. – верхній б’єф); 2 – стінка водозлива;  
3 – н.б. – нижній б’єф.

Робоча формула водозливу для витрати води має вигляд:

$$Q = 2,361 \cdot c \cdot h_e^{5/2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (26)$$

де  $h_1 = h + \Delta h$  – приведений напір над центральним кутом у створі вимірювання рівня, для  $\alpha = 90^\circ$   $\Delta h = 0,85$  мм;

$c$  – коефіцієнт витрати, який залежить від кута  $\alpha$ , співвідношення висоти порога  $P$ , ширини каналу  $B$ , напору  $h$ . При  $P/\beta \leq 0,2$ ,  $h/P \leq 0,8$  та  $\alpha = 90^\circ$  коефіцієнт витрати  $c = 0,578$ .

Трапецеїдальний водозлив з тонкою стінкою (рис. 7) встановлюється в каналах з пологими відкосами.

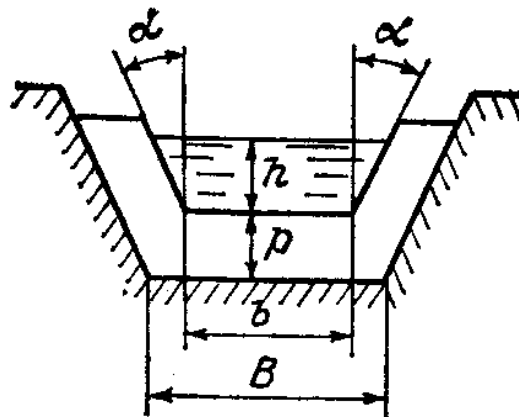


Рисунок 7 - Трапецеїдальний водозлив з тонкою стінкою

Витрата води через такий водозлив:

$$Q = 1.86 C_f \cdot b_0 h^{2/3}, \quad (27)$$

де  $C_f = (b_0 + h) / (b_0 + 0,25 h)$ .

Недоліком застосування водозливів з тонкою стінкою полягає в тому, що вони не пристосовані до пропуску наносів. Водозливи практичного профілю та лотки не перешкоджають транспортуванню наносів.

Лоток Паршала – один із найбільш розповсюджених типів витратомірів, які застосовують на меліоративних каналах та природних водотоках (рис. 2.25).

Емпірична формула для розрахунку витрати води:

$$Q = 0.372 b (3.278 h)^n, \quad (28)$$

де  $n=1,569 b^{0,026}$ .

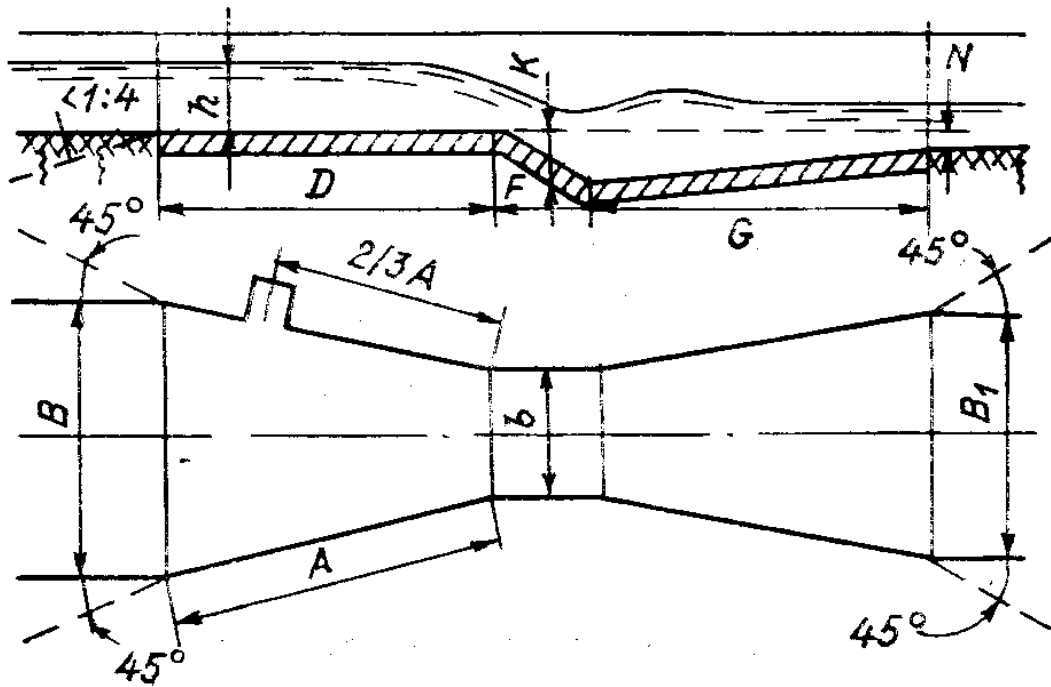


Рисунок 8 - Лоток Паршала

#### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що представляє собою гідрометрична модель витрати води?
2. Які методи вимірювання витрат води вам відомі?
3. Назвіть існуючі моделі витрат води.
4. В чому полягає точний спосіб вимірювання швидкості течії?
5. Як визначають витрату води за допомогою глибинних поплавків?
6. Як вимірюється витрата води на малих водотоках?

## Лекція 10. Загальні відомості про гідротехнічні споруди

**Мета лекції:** ознайомлення з класифікацією гідротехнічних споруд, усвідомлення особливостей роботи гідротехнічних споруд, засвоєння їх конструктивних особливостей, розуміння основ розрахунку фільтрації.

### План

1. Поняття про гідротехнічні споруди (ГТС) та їх класифікація.
2. Особливості та умови роботи ГТС.
3. Елементи флютбетів. Задачі фільтраційних розрахунків.
4. Теоретичні методи розрахунку фільтрації.

1. **Гідротехнічні споруди (ГТС)** – це інженерні споруди, які призначені для використання водних ресурсів або для попередження шкідливої дії води на навколишнє середовище (водопілля, селі). Взагалі існує більше 100 типів ГТС.

За місцем розташування ГТС розділяються на річкові, морські озерні, ставкові, підземні, внутрішні системи.

За характером функцій, що виконуються, розрізняються наступні види ГТС: водонапірні – для створення напору води (греблі, дамби); водозабірні – для забору води з водотоків та водойм; водопровідні – для подачі води до місця її споживання (тунелі, лотки, канали); водоскидні – для корисних пропусків у нижній б'єф, для скидання надлишкової води (глибинні і сифонні водоскиди); регуляційні – для регулювання дії хвиль та течій на береги водойм, для укріплення берегів, регулювання взаємодії річкового потоку з руслом (струминонапрямні дамби, шпори).

За умовами використання ГТС у відповідності із нормами [1] діляться на постійні і тимчасові. Постійні використовуються при постійній експлуатації об'єкта, тимчасові лише в період його будівництва або ремонту. Постійні ГТС поділяються на основні та другорядні. До основних відносяться ГТС, ремонт або аварія яких призводить до повної зупинки об'єкта (канали, греблі, водоскиди, будівлі гідроелектростанцій), а до другорядних – ГТС, та їх частини, зупинення яких не веде до важких наслідків (службові містки, ремонтні затвори).

За цільовим призначенням ГТС поділяються на дві групи: загального призначення і спеціальні. Споруди загального призначення використовуються для потреб різних галузей водного господарства, до таких споруд відносяться водопровідні, водонапірні, регуляційні споруди.



Спеціальні ГТС використовуються для потреб будь-якої однієї галузі. Розрізняють спеціальні ГТС: водно-транспортні (шлюзи, канали, хвилелом); меліоративні (насосні станції, канали, які призначені для обводнення і осушення земель); лісосплавні (запані, бони, колодоспуски); рибогосподарські (рибоводні ставки, рибоходи); для водопостачання та водовідведення (водозабори, очисні споруди); для створення шламонакопичувачів та хвостовищ (водоскиди, дамби); для боротьби з повеннями, селями, ерозією ґрунтів (зливоспуски, захисні дамби); водноенергетичні (будівлі гідроелектростанцій).

За капітальністю всі постійні ГТС діляться на 4 класи, а тимчасові відносяться до V класу. Клас капітальності споруд встановлюється в залежності від їх народногосподарського значення з врахуванням наслідків аварії на них чи порушень експлуатації.

Окремі типи ГТС класифікуються по висоті і за конструктивними прикметами. ГТС розділяються також за основним матеріалом, який використовується для будівництва (земляні, кам'яні, бетонні, сталеві, дерев'яні).

## 2. Вода чинить на ГТС механічну, фізико-хімічну і біологічну дію.

Механічна дія проявляється у вигляді статичних і механічних навантажень, що повинно враховуватись при будівництві, в першу чергу, підпірних ГТС, які після заповнення водосховища опиняються під тиском води (гідростатичний тиск, діючий в горизонтальному напрямку, намагається зсунути або перекинути споруду). Природний режим руслового потоку та ґрунтових вод змінюється у верхньому та нижньому б'єфах. Так швидкість течії у водосховищі значно зменшується із збільшенням глибини, але на підході до водоскидних споруд вона збільшується і може викликати розмиви дна у верхньому б'єфі (наприклад, така ситуація може виникнути при пропусканні води через донні отвори), що потребує влаштування кріплень перед спорудою. Динамічні навантаження виникають при проходженні потоку з великими швидкостями (20-30 м/с) через водозлив: в нижньому б'єфі енергія потоку може викликати розмиви ґрунтів основи. В таких випадках необхідні захисні заходи: влаштування водобою, рисберми. Динамічні навантаження виникають також при ударі хвиль, при русі фільтраційного потоку у тілі споруди, під час землетрусу. В зимовий період статичні навантаження можуть виникнути при термічному розширенні суцільного крижаного покриву, при навалі крижаних полів під дією вітру і течії. При фільтрації води в основі споруди виникає так званий протитиск – фільтраційний тиск, направлений знизу вверх, який зменшує опір зсуву

споруди.

Фізико-хімічна дія води викликає руйнування металевих елементів внаслідок корозії; кавітацію яка може виникати в зонах, де потік обтікає споруду з великими швидкостями і утворюється вакуум; хімічну суфозію в ґрунтах, які містять легкорозчинні речовини.

Біологічна дія води зумовлена життєдіяльністю різних мікроорганізмів, що в ній існують. В результаті може відбуватися гниття дерев'яних елементів, заростання трубопроводів, тощо.

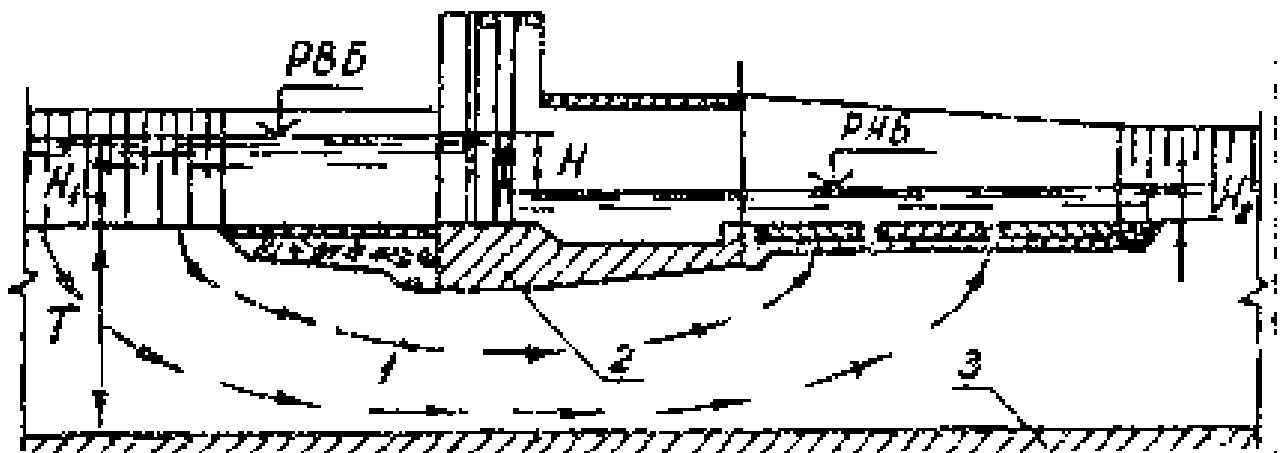
Будівництво ГТС суттєво впливає на природні умови навколишніх територій. Поява великих водосховищ, розповсюдження підпору від гідровузлів на десятки кілометрів вгору за течією змінюють рослинний та тваринний світ і навіть клімат.

Аварія великої споруди може привести до значних негативних наслідків. Відомі аварії ГТС різного типу були викликані в основному наступними причинами: переливом води через гребінь; хімічною суфозією; деформацією і сповзанням укосів гребель; зосередженою фільтрацією крізь тіло споруди чи основу.

ГТС мають ряд особливостей, пов'язаних з виконанням робіт при їх спорудженні. Це пов'язується з великим вантажообігом. Гідротехнічне будівництво відрізняється масовістю основних робіт: земельно-скельні, бетонні роботи за вартістю і трудомісткістю складають до 80% від загального об'єму робіт.

3. ГТС, яка створює різницю рівнів в б'єфах і має водопроникну основу, викликає рух ґрунтового потоку, як в основі споруди, так і в її обхід.

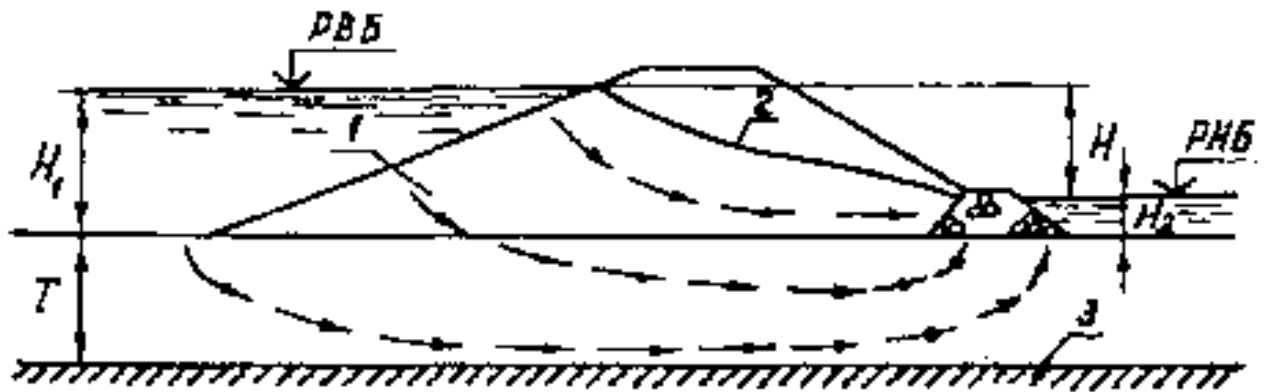
Якщо споруда водонепроникна (з бетону або залізобетону), а ґрунт, на якому вона розташована, легкопроникний, то ґрунтовий потік не має вільної поверхні і буде напірним (рис. 1.1.1).



1 – область фільтрації, 2 – підшва споруди, 3 – водоупор.

Рисунок 1. – Напірний рух фільтраційного потоку в основі споруди

Якщо споруда фільтруюча (земляна гребля, дамба), то в такому випадку вода проходить через тіло споруди, при цьому виникає вільна поверхня ґрунтового потоку і рух буде безнапірний (рис. 1.1.2).



1 – область фільтрації, 2 – крива депресії, 3 – водоупор.

Рисунок 2 – Безнапірний рух фільтраційного потоку

Флютбет складає частину ГТС, призначену для створення штучного русла для відкритого потоку і для гасіння напору фільтраційного потоку.

В річкових спорудах складовими частинами флютбету є понур, тіло греблі, водобій, рисберма і кінцева частина кріплення (рис. 1.1.3).

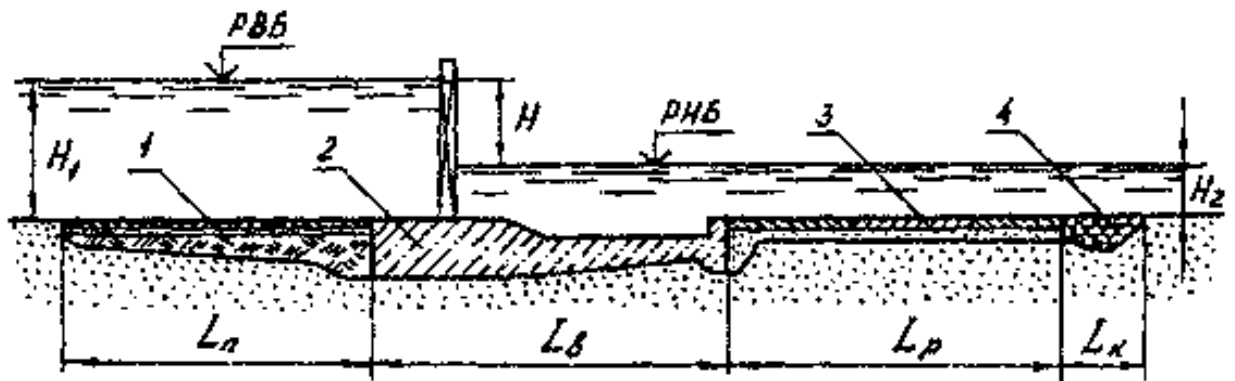


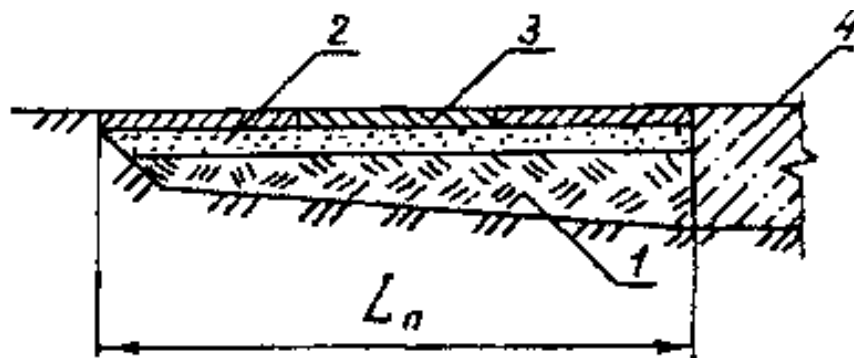
Рисунок 3 – Складові частини флютбету низьконапірної гідротехнічної споруди на каналі:

1 – понур; 2 – водобій; 3 – рисберма; 4 – кінцева частина.

Лінія поверхні води в ґрунтовому тілі споруди називається депресійною кривою або кривою депресії.

В більшості ГТС водозливний поріг і водобій об'єднуються в одну масивну плиту (вважається, що флютбет складається з понура, водобою, рисберми, кінцевої частини кріплення). В окремих спорудах тіло греблі може бути відсутнє, і замість нього тільки низький поріг.

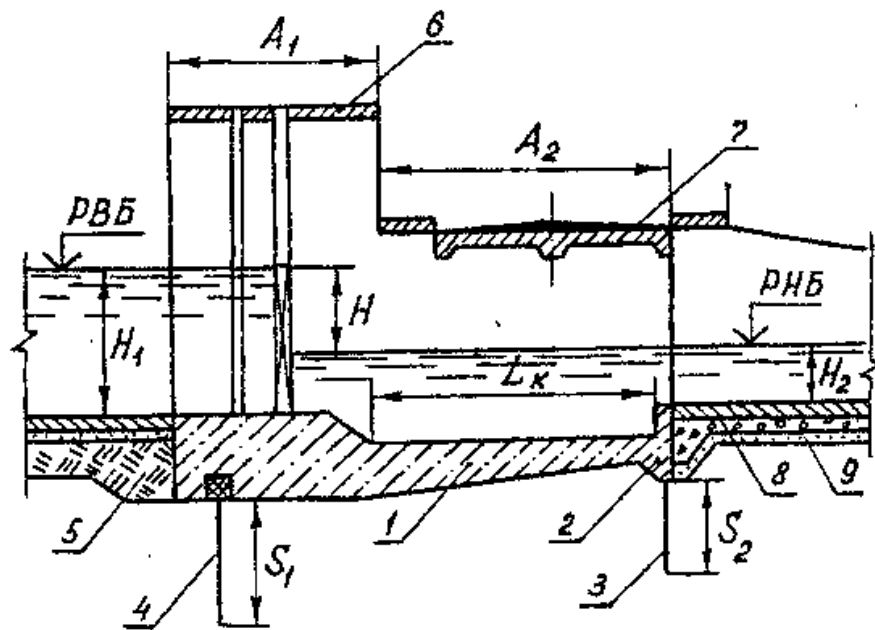
**Понур** – це елемент флютбета, який за рахунок збільшення шляху фільтраційного потоку гасить частину діючого напору. В низьконапірних спорудах влаштовується з ґрунтових матеріалів, а в більш відповідальних – з бетону, залізобетону, полімерних матеріалів. Довжина понура при попередньому компонуванні флютбету вибирається з умови погашення частини фільтраційного напору. Для попередження розливу ґрунтовий понур покривається зверху бетонними (залізобетонними) плитами. Товщина понура приймається конструктивно, потім уточнюється фільтраційними розрахунками.



1 – ущільнений ґрунт; 2 – шар піску; 3 – залізобетонні плити; 4 – водобій

Рисунок 4 – Конструкція понура

**Водобій** – основний елемент флотбету, який створює безпечні умови протіканні води через споруду при підвищених швидкостях в зоні стрибкового спряження б'єфів і гасить напір фільтраційного потоку. В конструктивному відношенні це досить масивна водонепроникна плита. На початку і в кінці водобійної плити влаштовуються потовщення (верхові та низові зуб'я) для збільшення довжини підземного контуру і зменшення градієнтів фільтраційного потоку. Збільшення довжини підземного контуру досягається влаштуванням шпунтових рядів, відстань між ними приймається не менше суми їх глибини занурення.



- 1 – водобійна плита; 2 – низовий зуб; 3 – вихідний шпунт;  
 4 – королевий шпунт; 5 – понур; 6 – службовий міст;  
 7 – проїжджий міст; 8 – рисберма; 9 – зворотний фільтр.

Рисунок 5 – Конструкція водобією

**Рисберма** – необхідна для вирішення наступних задач:

- 1) створення вільного виходу фільтраційного потоку (вона повинна бути водопроникною);
- 2) захищати русло за водобієм від розмиву поверхневим потоком;
- 3) гальмувати придонні швидкості поверхневого потоку;
- 4) захищати ґрунт, на якому вона розташована, від розмиву підземних потоком.

Виконується з бетонних та залізобетонних плит. Довжина рисберми повинна бути достатньою для гасіння швидкостей вихідного потоку до

безпечних величин на розмив у відповідному руслі.

Підземний контур споруди – це лінія контакту (поверхня контакту) всієї підземної частини флютбету з ґрунтом основи. У відповідності з призначенням підземний контур має водонепроникні і водопроникні частини. В спорудах середнього і високого напору водонепроникними частинами є понур і тіло греблі, а водобій та рисберма з кінцем кріпленням – водопроникні. Водонепроникними частинами в низьконапірних спорудах (де тіло греблі може бути відсутнім) є понур та водобій, а водопроникними – рисберма з кінцевим кріпленням.

Проектування підземного контуру виконується таким чином, щоб він міг зменшити фільтраційну витрату під спорудою, знизити вихідну швидкість фільтрації і зменшити розрахункові значення тиску на флютбет до безпечних величин.

4. При розгляді теоретичних методів розрахунку М.М. Павловським [2] прийняті такі положення і обмеження:

- 1) водопроникна основа однорідна і фільтрація в ній підкоряється закону Дарсі;
- 2) рух фільтраційного потоку усталений і розглядається двомірною задачею.

Ґрунтовий потік характеризується сімейством ліній течії  $S$ , виберемо елементарну струминку і запишемо вираз для п'єзометричного напору:

$$h = p_a / \rho g - y_a, \quad (1.1.1)$$

де  $y_a$  – вертикальна ордината центра ваги струминки;

$p_a$  - тиск в точці.

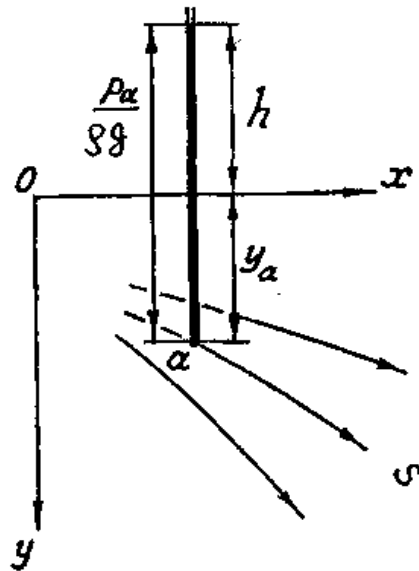


Рисунок 6 – Плоска картина руху ґрунтового потоку

$h=f(x;y)$  - напір  $h$  в загальному випадку неоднаковий в різних точках області фільтрації. Тому величину  $h$  називають напірною функцією. Для вибраної точки п'єзометричний ухил при плоскому усталеному русі потоку уздовж осі  $O_x$  буде:

$$J_x = - \partial h / \partial x \quad (1.1.2)$$

а вздовж осі  $O_y$ :

$$J_y = - \partial h / \partial y, \quad (1.1.3)$$

Компоненти швидкості відповідно до закону Дарсі у вибраній точці будуть:

$$U_x = - k J_x, \quad U_y = - k J_y, \quad (1.1.4)$$

де  $k$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту основи.

$$U_x = - k \frac{\partial h}{\partial x}, \quad U_y = - k \frac{\partial h}{\partial y}. \quad (1.1.5)$$

Якщо продиференціювати вирази (1.1.5) в частинних прохідних, то отримаємо:

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} = -k \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial U_y}{\partial y} = -k \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \quad (1.1.6)$$

Підставивши в рівняння нерозривності

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} = 0 \quad (1.1.7)$$

складові з рівняння (1.1.6) і скоротив величину k, отримаємо

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (1.1.8)$$

Рівняння виду (1.1.8) називають рівнянням Лапласа.

Таким чином, в усіх точках області фільтрації сума других частинних похідних від  $h$  по  $X$  і по  $Y$  повинна дорівнювати нулю. Функція, яка має таку властивість, називається гармонічною.

Введемо позначення:

$$\varphi = -k h, \quad (1.1.9)$$

то  $\varphi$ , як і  $h$  залежить від координат:

$$\varphi = \varphi(x, y) \quad (1.1.10)$$

Користуючись (1.1.9) рівнянням (1.5) можна записати:

$$U_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad U_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}. \quad (1.1.11)$$

Тобто  $U_x$ ,  $U_y$  є частинними похідними по відповідних координатах функції  $\varphi$ , яка залежить тільки від координат. Висновок: ламінарний рух ґрунтових вод є рухом потенціальним (безвихоревим).

Рівняння  $\varphi(x, y) = \text{const}$  дає криву, у всіх точках якої потенціал швидкості однаковий,  $\varphi = \text{const}$ . Така крива називається лінією рівного потенціалу або еквіпотенціаллю.

Якщо вибрати спряжену з  $\varphi$  функцією  $\psi$ , то вона теж є гармонічною в області фільтрації, тобто

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad (1.1.12)$$



це рівняння

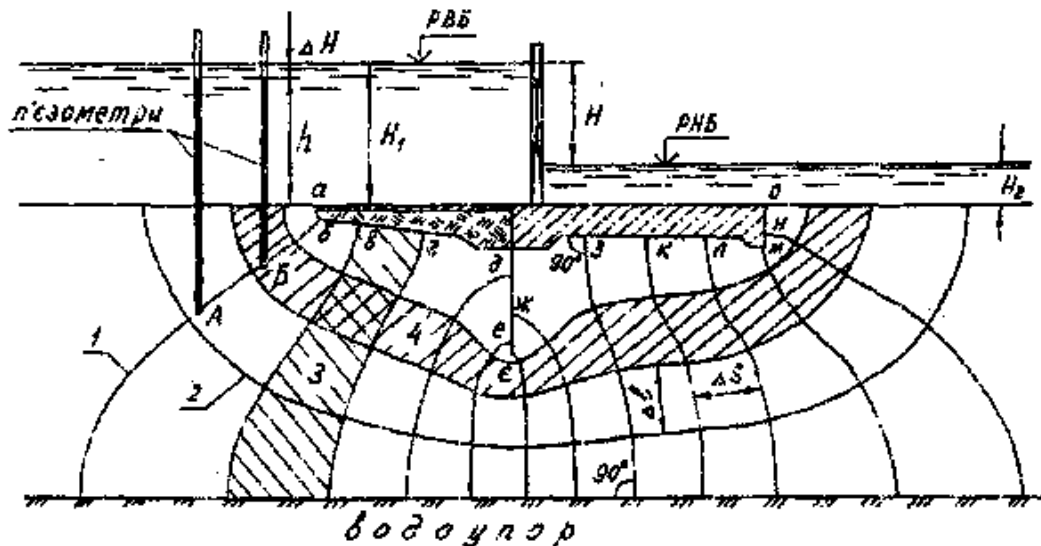
$$\Psi(x,y) = \text{const} \quad (1.1.13)$$

дає криву, яка називається лінією течії.

Функції  $\Phi$  і  $\Psi$ , виражені графічно, утворюють взаємно ортогональну сітку, яка називається гідродинамічною сіткою.

Вона складається з двох систем ліній: еквіпотенціалей (ліній рівних напорів) і ліній течій, які при усталеній фільтрації є траєкторіями руху частинок рідини.

Сукупність ліній рівного напору проходить від підземного контуру до водоупору, а сукупність ліній течії – від поверхні дна верхнього б'єфа до поверхні дна нижнього б'єфа. При цьому підземний контур є першою лінією течії, а водоупор останньою (рис. 1.1.7).



1 – лінія рівного напору; 2 – лінія течії; 3 – пояс тиску; 4 – стрічка витрати.

Рисунок 7 – Гідродинамічна сітка

За допомогою гідродинамічної сітки можна визначити всі параметри фільтраційного потоку.

Лінія рівного напору розраховується за залежністю:

$$h_x = H - n \frac{H}{r} \quad (1.1.14)$$

де  $\Pi$  – порядковий номер ліній рівного напору.

Потім будується епюра фільтраційних напорів на підземний контур споруди. На проекції підземного контуру знаходяться точки перетину ліній рівного напору з підземним контуром споруди і відкладаються значення відповідних ординат напорів (рис. 1.1.8). Напір в будь-якій точці визначається шляхом інтерполяції між відмінними лініями рівних напорів.

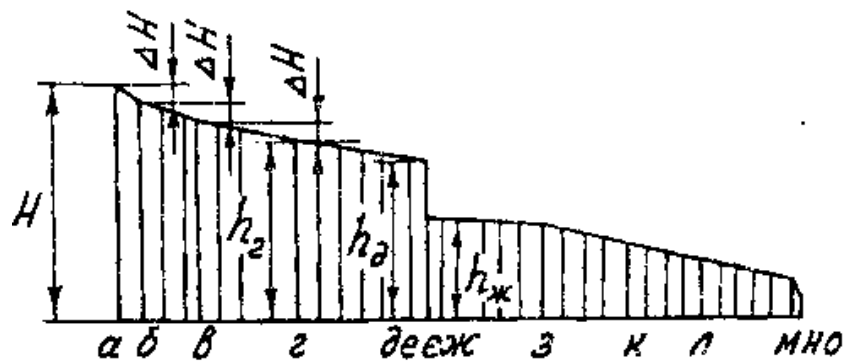


Рисунок 8 – Епюра фільтраційних напорів на флутбет, побудована за допомогою гідродинамічної сітки

Для визначення градієнта напору в довільно вибраній точці  $M$  через неї проводиться допоміжна лінія течії (аб) довжиною  $\Delta S$ . Значення градієнта напору визначається за залежністю:

$$J_M = \frac{(h + \Delta h) - h}{\Delta S} = \frac{\Delta h}{\Delta S}, \quad (1.1.15)$$

де  $h + \Delta h$  і  $h$  – значення напорів на лініях рівних напорів, найближчих до т.М.

Швидкість фільтрації:

$$v_M = k J_M = k \frac{\Delta h}{\Delta S}, \quad (1.1.16)$$

де  $k$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту основи.

Для визначення швидкостей на лінії дна нижнього б'єфа будується епюра вихідних градієнтів.

Для визначення фільтраційної витрат вибирається криволінійний квадрат гідродинамічної сітки розмірами  $\Delta S_1$  і  $\Delta S_2$  на лініях течій і розмірами  $\Delta l_1$  і  $\Delta l_2$  на лініях рівного напору (рис. 1.1.9).

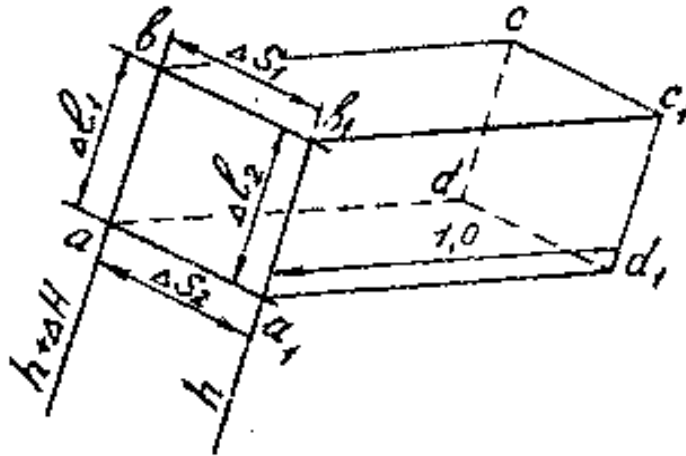


Рисунок 9 – Схема для визначення фільтраційної витрати

Витрата дорівнює:

$$q = S_{cp} v_{cp} , \quad (1.1.17)$$

де  $S_{cp}$  – середнє значення площі поперечного перерізу;

$v_{cp}$  – середнє значення швидкості руху.

Значення  $S_{cp}$  і  $v_{cp}$  визначається за залежностями:

$$S_{cp} = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2} \cdot 1 = \Delta l_{cp} \cdot 1 \quad (1.1.18)$$

$$v_{cp} = k J_{cp} = k \frac{\Delta H}{\Delta S_{cp}} \quad (1.1.19)$$

$$\Delta S_{cp} = \frac{\Delta S_1 + \Delta S_2}{2} \quad (1.1.20)$$

$$q = k \Delta H \frac{\Delta l_{cp}}{\Delta S_{cp}} \quad (1.1.21)$$

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. За якими ознаками класифікують ГТС?
2. Які наслідки впливу дії води на ГТС?
3. Назвіть складові частини флютбету.
4. Які припущення допускаються для теоретичних методів розрахунку фільтрації?
5. Що таке екіпотенціаль?
6. З якою метою складається гідродинамічна сітка?
7. Як визначити фільтраційну витрату?

## Лекція 11. Греблі земляні з крупно уламкових ґрунтів та інші

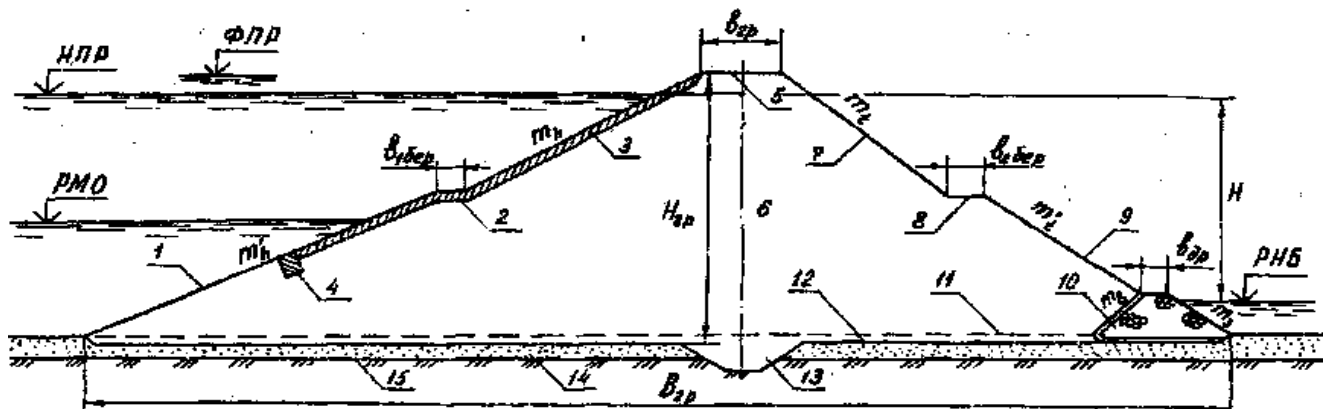
**Мета лекції:** ознайомлення з класифікацією земляних гребель, усвідомлення особливостей роботи гребель, засвоєння їх конструктивних особливостей, розуміння основ фільтраційних і статичних розрахунків земляних гребель.

### План

1. Загальні відомості і класифікація гребель.
2. Конструювання поперечного профілю греблі.
3. Фільтраційні і статичні розрахунки земляних гребель.

1. Суттєвою перевагою ґрунтових гребель є те, що для їх спорудження використовується місцевий будівельний матеріал, для його підготовки необхідні тільки розкривні роботи, але в загальному об'ємі вартості їх доля незначна. Крім того: 1) будівництво земляних гребель можливе в будь-яких географічних районах; 2) всі процеси, пов'язані з укладкою ґрунту у тіло механізовані; 3) ґрунт тіла греблі не витрачає своїх властивостей із часом; 4) греблі мають незначні експлуатаційні витрати; 5) їх можна нарощувати по висоті, не виключаючи з роботи водосховище.

**Ґрунтова гребля** – це насип з ґрунту, який має форму нерівнобічної трапеції у поперечному перерізі, нормальному до поздовжньої осі (рис. 1.2.1).



- 1 – верховий укіс; 2 – берма верхового укусу; 3 – кріплення верхового укусу; 4 – упор кріплення; 5 – гребінь греблі; 6 – тіло греблі; 7 – низовий укіс; 8 – берма низового укусу; 9 – кріплення низового укусу; 10 – дренаж; 11 – природна поверхня ґрунту; 12 – підшва греблі; 13 – замок; 14 – водопроникний шар основи; 15 – водонепроникний шар основи - водоупор

Рисунок 1.2.1 – Ґрунтова гребля

В залежності від матеріалу тіла і протифільтраційних пристроїв, а також умов спорудження, греблі із ґрунтових матеріалів поділяються на такі типи (табл.1.2.1).

Таблиця 1.2.1 – Типи гребель з місцевих матеріалів

Типи гребель	Відмітні позначки
Земляні наливні	Ґрунти від глинистих до гравійно-галькових, наливються засобами гідромеханізації
Земляні насипні	Ґрунти від глинистих до гравійно-галькових, відсипаються засухо з ущільненням або у воду
Кам'яно-земельні	Ґрунт тіла – крупноуламковий, профільтраційні пристрої від глинистих до дрібно піщаних
Кам'яно-накидні	Ґрунт тіла – крупноуламковий, профільтраційні пристрої з неґрунтових матеріалів

Земляні греблі класифікують за різними ознаками: за способом будівництва; конструкцією тіла греблі; конструкцією проти фільтраційних пристроїв; за класом; за висотою.

За способом будівництва греблі поділяються на уасипні, наливні і напівналивні.

Насипні греблі споруджуються шляхом відписки окремих шарів ґрунту з наступним ущільненням механічним способом.

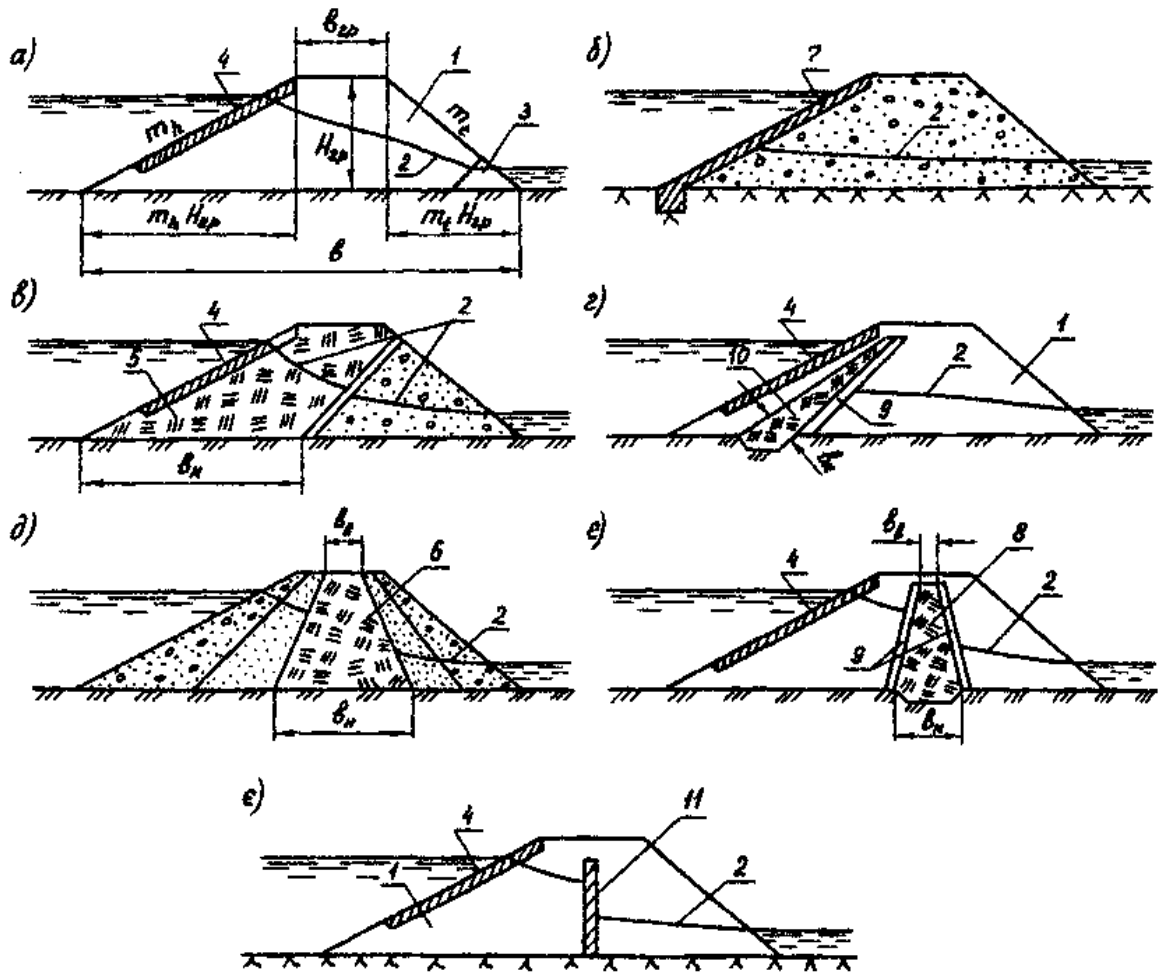
Весь процес спорудження наливних гребель виконується засобами гідромеханізації.

При спорудженні напівналивних гребель розробка, транспортування і відсипка ґрунту проводяться такими ж способами, як і в насипних, а укладка ґрунту у центральну зону гідромеханізована.

За конструкцією поперечного профілю виділяють наступні види насипних гребель (рис.1.2.2):

- 1) однорідна – коли тілом греблі є ґрунт одного виду (суглинок, супісок, пісок);
- 2) неоднорідна – коли тіло греблі утворено ґрунтами декількох видів;
- 3) з екраном із неґрунтових матеріалів;
- 4) з екраном з маловодопроникних матеріалів, коли тіло греблі має значну водопроникність;

- 5) з ядром з маловодопроникних ґрунтів;  
 6) з жорсткою діафрагмою, яка виконує ті ж функції, що і ядро.



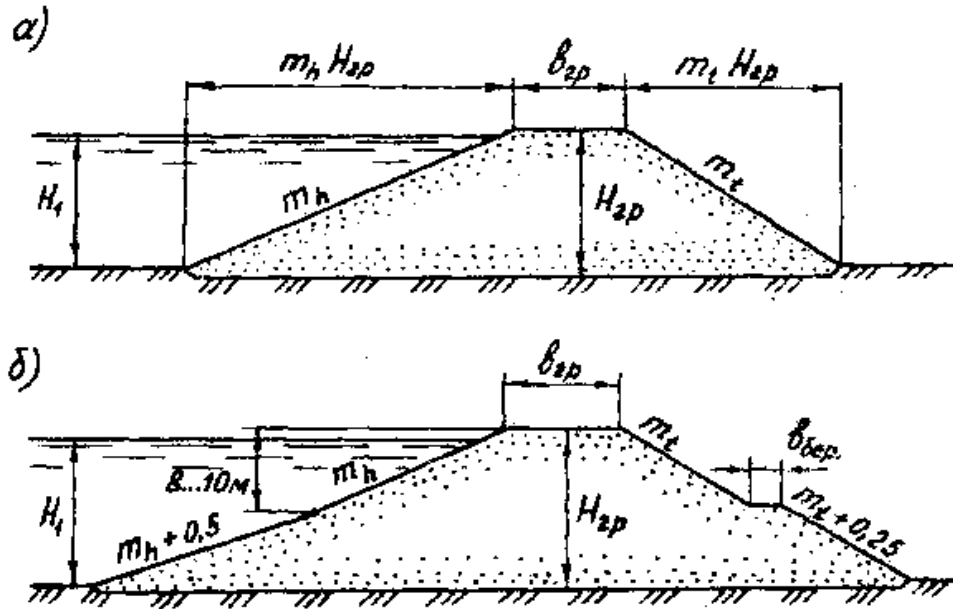
а – однорідна; в-е – неоднорідна; б – з екраном із неґрунтових матеріалів; г – з ґрунтовим екраном; е – з ґрунтовим ядром; 1 – тіло греблі; 2 – крива депресії; 3 – дренаж; 4 – кріплення укосу; 5 – верхова протифільтраційна призма; 6 – центральна протифільтраційна призма; 7 – екран з неґрунтових матеріалів; 8 – ґрунтове ядро; 9 – перехідні зони; 10 – ґрунтовий екран; 11 – діафрагма;  
 $H_{гр}$  – висота греблі;  $B$  – ширина греблі низом;  $b_n$  – ширина низом протифільтраційного пристрою;  $b_{гр}$  – ширина гребеня греблі.

Рисунок 2 – Види насипних гребель

2. Правильно запроектована і побудована земляна гребля має бути стійкою при всіх умовах роботи; захищеною від руйнування фільтрації води; від дії вітрових хвиль; максимально економічною.

Верховий укіс, який знаходиться під дією хвиль, насичений водою на

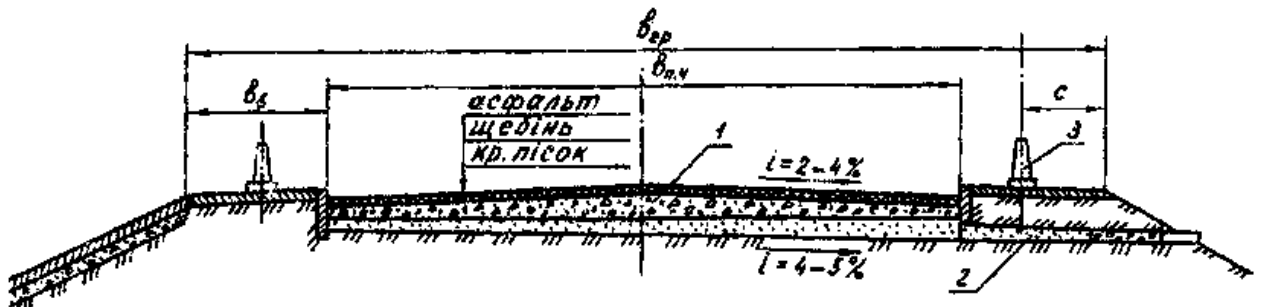
всю висоту, виконується пологішим, низовий – крутішим. Переломи укосів по висоті назначаються через 8...10 м, приймаючи збільшення закладання на 0,5 для верхових укосів і на 0,25 – для низових (рис. 1.2.3). В місцях зміни закладання укосів часто створюються горизонтальні площадки – берми, які розташовуються через 8...10 м по висоті, починаючи з гребеня греблі.



а) постійне; б) змінне.

Рисунок 3 – Закладання укосів греблі

Ширина греблі визначається з урахуванням умов виконання робіт і експлуатації. Якщо передбачається проїзд по гребеню, то він проектується як дорога по насипному ґрунту. Для забезпечення стоку атмосферної води проектується поперечний ухил в обидві сторони від вісі гребеня (рис. 1.2.4).



1 – покриття гребеня; 2 – дренажна труба із зворотним фільтром;  
3 – надобвні

Рисунок 4 – Гребінь греблі



Перевищення гребеня греблі над розрахунковим рівнем води у водосховищі визначається за формулою:

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{run1\%} + a, \quad (1.2.1)$$

де  $h_{set}$  – висота вітрового нагону води;

$h_{run1\%}$  – висота накочування вітрової хвилі;

$a$  – запас висоти.

Значення  $\Delta h_{set}$  визначається за формулою:

$$\Delta h_{set} = K_w \frac{V_w^2 \cdot L}{g(d + 0.5\Delta h_{set})} \cos \alpha_w \quad (1.2.2)$$

де  $K_w$  – коефіцієнт, який приймається в залежності від швидкості вітру;

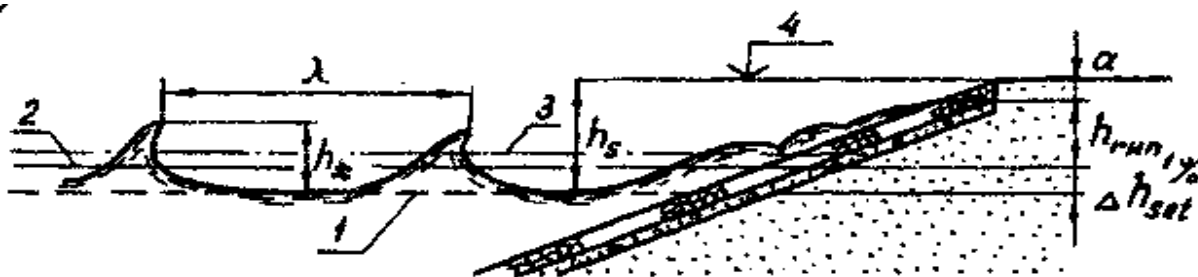
$V_w$  – розрахункова швидкість вітру;

$L$  – довжина розгону вітрової хвилі;

$d$  – глибина води перед греблею;

$g$  – прискорення сили тяжіння;

$\alpha_w$  – кут між поздовжньою віссю водойми і напрямком пануючих вітрів.

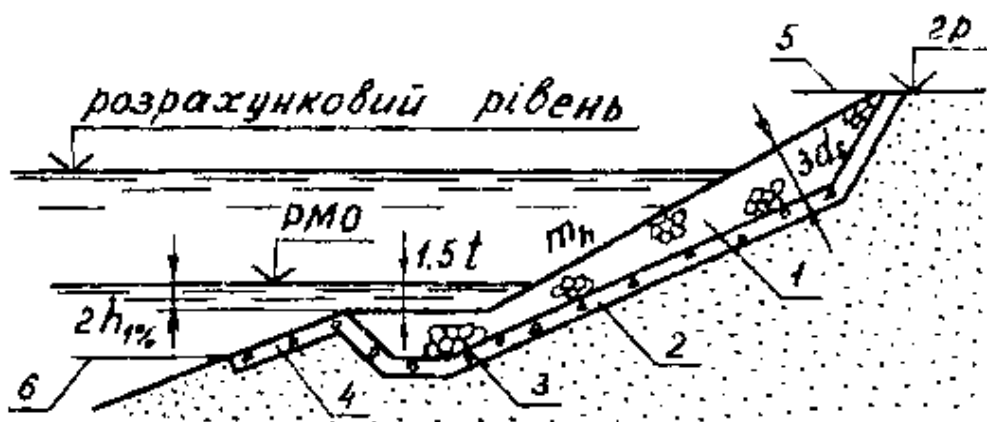


1 – розрахунковий статичний рівень; 2 – рівень води при вітровому нагоні; 3 – середня хвильова лінія; 4 – відмітка гребеня.

Рисунок 5 – Схема для визначення відмітки гребеня греблі без парапету

**Кріплення укосів.** Спеціальні кріплення укосів служать для захисту від дії льоду, хвиль, течій, зміни рівнів води, кліматичних умов, проникнення землерийних тварин. Для захисту верхового укосу застосовуються такі види кріплень [3]:

1) Кам'яні (накидні) – виконуються у вигляді кам'яного накиду переважно з невідсортованого каменю, що пов'язано із значними труднощами сортування кам'яного матеріалу. Розташовується кріплення на підготовці у вигляді зворотного фільтра, товщина окремого шару якого повинна бути не менше 15 см. На Каховському водосховищі загальна товщина зворотного фільтра 60 см.



1 – кам'яний накид; 2 – зворотний фільтр; 3 – кам'яний упор на бермі;  
4 – полегшене кріплення; 5 – верхня межа кріплення; 6 – нижня межа.

Рисунок 6 – Конструкція кріплення укосу греблі каменем

- 2) Бетонні і залізобетонні кріплення – виконуються у вигляді плит, які монолітяться на місці, або збірних залізобетонних плит. Монолітні плити товщиною від 15 до 50 см мають прямокутну форму в плані з співвідношенням сторін  $1 \leq l_{SL} / b_{SL} \leq 2$ , де  $l_{SL}$  – більша сторона плити,  $b_{SL}$  – менша сторона. Розмір  $b_{SL}$  вибирається  $0.4\lambda$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі, але  $b_{SL}$  не більше 20 м.
- 3) Асфальтобетонне кріплення – ще не набуло широкого розповсюдження, виконується з асфальту, асфальтобетону, асфальтополімербетону 6...8 см із металевою сіткою.
- 4) Грунтоцементні кріплення – з піщаногравійного ґрунту з добавками цементу (7-14%) і води. Суміш готується в змішувальних установках, укладається шарами товщиною 15...20 см і ущільнюється катками.

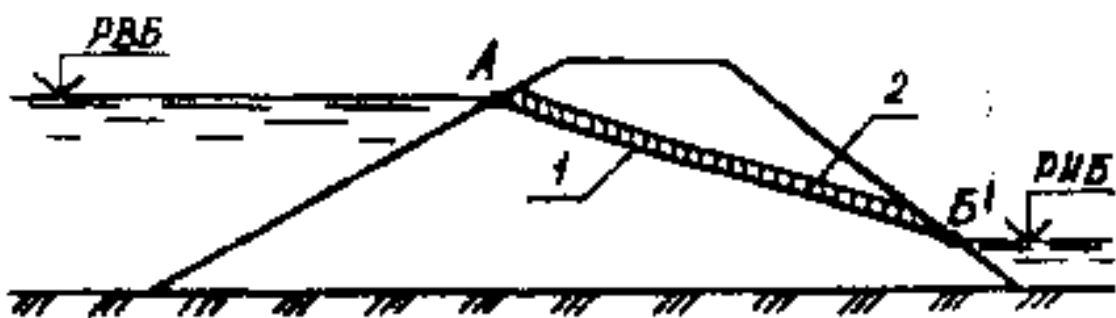
Грунтобітумні укріплення – виготовляються з піску і бітуму (18-23% за масою) в спеціальній установках і викладаються на укiс при температурі суміші 185...200°C. Основною перевагою такого укріплення є незначні затрати праці на його влаштування.

Кріплення низового укосу – вибирається в залежності від матеріалу, з якого споруджена низова призма греблі. Прості і дешеві кріплення – дернування і залуження. При глинистих і пісчаних ґрунтах для прискорення росту трав на поверхню укосу насипається шар рослинного ґрунту товщиною 10...12 см. В перший рік експлуатації деформацію укосу можна попередити шляхом його залуження в дернових клітках. Залуження і дернове кріплення застосовуються тільки в умовах, сприятливих для росту трав та при забезпеченні періодичного поливу. В районах з сухим кліматом та сильними вітрами низові уклони покривають ущільненим шаром щебеню товщиною 20...30 см.

3. Гребля створює напір  $H$ , під дією якого виникає рух фільтраційного потоку з верхнього в нижній б'єф через тіло греблі. Цей рух є безнапірним, тому що зверху він обмежується вільною поверхнею, на якій у всіх точках тиск дорівнює атмосферному.

Поверхня депресії – це вільна поверхня фільтраційного потоку, а лінія перетину цієї поверхні з вертикальною площиною – депресійною кривою (на рис.1.2.7 крива АБ).

Ґрунт, який знаходиться нижче поверхні депресії, насичений водою; а вище неї знаходиться зона капілярного підняття води.



1 – крива депресії; 2 – капілярна зона.

Рисунок 7 – Схема фільтрації води через земляну греблю

Більш 50% аварій виникають як наслідок фільтраційних деформацій в тілі греблі. Тому при проектуванні ґрунтових гребель треба виконувати фільтраційний розрахунок, в процесі якого визначаються:

- положення депресійної поверхні фільтраційного потоку;

- напори у відповідних частинах греблі;
- фільтраційні витрати.

3. Всі методи розрахунків фільтрації можна поділити на експериментальні, гідромеханічні і гідравлічні.

З експериментальних найбільшого розповсюдження набув метод електрогідродинамічних аналогій (ЕГДА), який виконується при складних геологічних умовах.

Гідромеханічні методи розрахунків базуються на розв'язанні рівняння Лапласа, дають можливість визначення параметрів потоку в довільно вибраній точці досить точно. Але розв'язки досить складні, тому широко не застосовуються.

Гідравлічні методи є найбільш поширеними. В них розглядається ustalений фільтраційний потік в умовах плоскої задачі. Розрахунки дозволяють визначити положення кривої депресії, вирахувати фільтраційну витрату, середні значення градієнтів і швидкостей фільтраційного потоку. Проектний профіль греблі зводиться до розрахункової схеми, в якій виключаються всі незначні деталі і не враховуються втрати напору в крупнозернистих привантаженнях, що укладені зверху малопроникних елементів. Гідравлічний розрахунок фільтрації розроблявся проф. М.М.Павловським [4]. Згідно з цим розрахунком, поперечний профіль греблі розбивається на 3 частини: верховий клин, середню частину і низовий клин.

Профіль тіла греблі перевіряється розрахунком на фільтраційну міцність. Вона вважається забезпеченою при виконанні умови:

$$J_{est,m} < \frac{1}{\gamma} J_{cr,m} , \quad (1.2.3)$$

де  $J_{est,m}$  – діючий середній градієнт напору;

$J_{cr,m}$  - критичний градієнт;

$\gamma$  - коефіцієнт надійності.

Значення  $J_{est,m}$  визначається за методом Р.Р. Чугаєва [5]. Згідно цього методу вся область фільтрації умовно поділяється на дві частини: основу і тіло греблі (рис. 1.2.8).

Для основи глибина водоупору визначається розміром  $T_p$ . Вважається, що:

$$T_p = T, \quad (1.2.4)$$

$$T_p = T_{\text{акт}}, \quad (1.2.5)$$

де  $T$  – дійсне заглиблення водоупору;

$T_{\text{акт}}$  - глибина активної зони,  $T_{\text{акт}}=0,5L_1$ ,

де  $L_1$  - ширина греблі в основі:

Тоді

$$J_{\text{est},m} = \frac{H}{L_1 + 0.88 \cdot T_p} \quad (1.2.6)$$

Для однорідного тіла греблі середній градієнт напору визначається за схемою (рис.1.2.8).

$$J_{\text{est},m} = H / L. \quad (1.2.7)$$

Отримані коефіцієнти  $J_{\text{est},m}$  співставляються з критичними значеннями  $J_{\text{cr},m}$ .

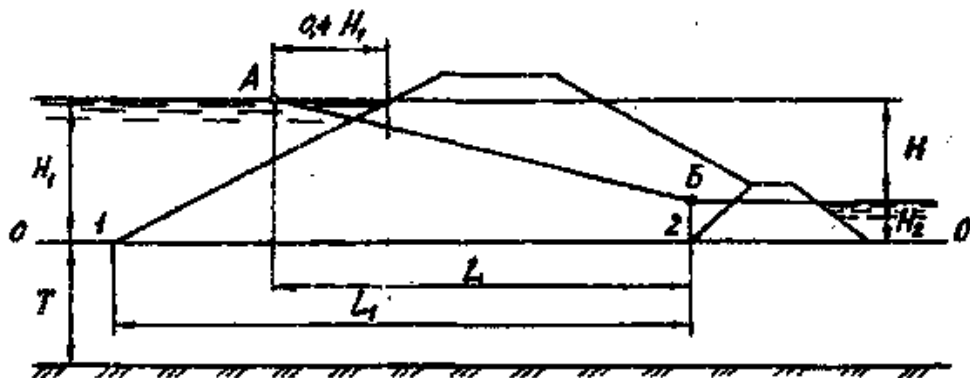


Рисунок 8 – Схема до розрахунку фільтраційної міцності земляної греблі

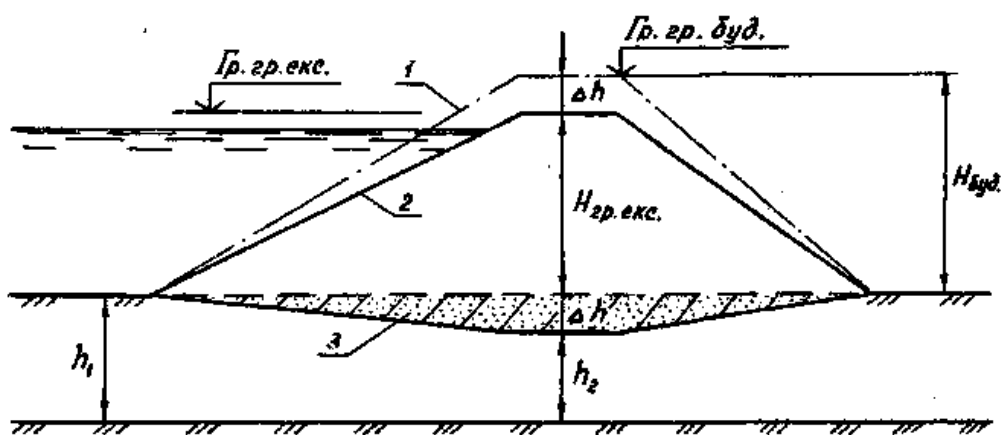
Значення і тривалість осідання греблі треба враховувати при спорудженні ґрунтових гребель [3]. Осідання в греблях складаються із осідання тіла греблі і осідання основи, розрахункові залежності для визначення осідання обох частин однакові.

Повне осідання можна визначити як різницю початкової  $h_1$  і кінцевої  $h_2$  висоти шару ґрунту, який стискується

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad (1.2.8)$$

$$\Delta h = h_1 \cdot \frac{l_1 - l_2}{1 + l_1}$$

де  $l_1, l_2$  – коефіцієнти пористості ґрунту основи до і після осідання.



1 – будівельний; 2 – експлуатаційний; 3 – ґрунтові основи, що ущільнюється.

Рисунок 9 – Контури греблі

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. В чому полягають переваги улаштування ґрунтових гребель?
2. За якими ознаками класифікують земляні греблі?
3. Які вимоги ставлять до улаштування земляних гребель?
4. Як виконується закладання укосів греблі?
5. Як укріплюються укоси земляних гребель?
6. Які параметри визначаються фільтраційні розрахунки?
7. Як перевіряється фільтраційна міцність ґрунтових гребель?
8. Як враховується можливість осідання ґрунтових гребель при їх спорудженні?

## Лекція 12. Бетонні гравітаційні греблі на скельних основах

**Мета лекції:** ознайомлення з видами гравітаційних гребель на скельних основах, усвідомлення особливостей роботи гравітаційних гребель, засвоєння їх конструктивних особливостей, розуміння основ розрахунку гравітаційних гребель.

### План

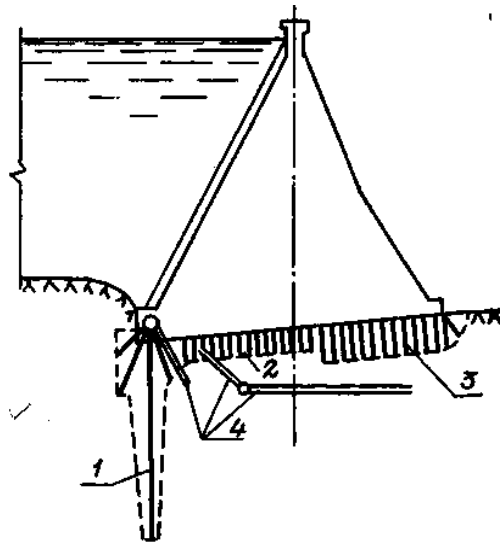
1. Бетонні гравітаційні греблі на скельних основах.
2. Водозливні гравітаційні греблі на скельних основах.
3. Бетонні водозливні греблі на нескельних основах.
4. Переваги і недоліки гравітаційних гребель.

1. Скельні породи, на яких споруджуються підпірні ГТС, повинні мати достатню міцність, малу та рівномірну стислість, малу водопроникність і достатню водостійкість, монолітність будови. Такими породами є скельні: вивержені, осадові та метаморфічні. Вивержені скельні породи – це граніти, сієніти, базальти, діабазы, характеризуються однорідністю матеріалу, високою міцністю. Осадові породи – це міцні вапняки, доломіти, піщаники. Метаморфічними є кристалічні сланці, гнейси, кварцити.

Бетонна гребля повинна стояти на міцному ґрунті. Алювіальні та делювіальні породи усуваються. Виїмка скелі виконується екскаваторами після вибухових робіт, останні 0,5...1 м ґрунту виймаються за допомогою невеликих вибухів, або вручну відбійними молотками, кувалдами. Перед бетонуванням скельну породу очищають від уламків та пилу за допомогою струмин води та металевих щіток. Потім робиться площинна зміцнююча цементация (рис.1.3.1). Глибина укріплюючої цементации в середній і низовій частинах 7...15 м, товщина зв'язуючої цементации 3...5м.

Профільтраційні завіси влаштовують під подошвою греблі – це ряд свердловин, в які нагнітається цементний розчин, малопроникний для води. Глибина завіси на практиці складає 0,5 – 0,8 від значення напору на греблю, діаметр свердловин 45...76 мм, вони вертикальні або нахилені в сторону верхнього б'єфа.

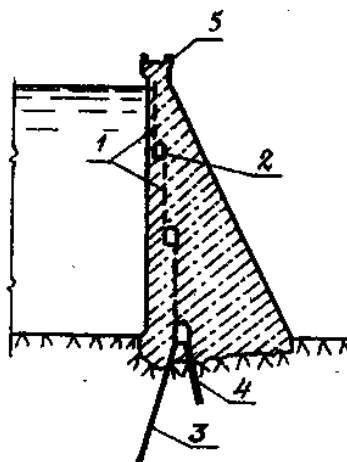
Дренаж під греблею – ряд свердловин або галерей діаметром 20...25 см на відстані 2...5 м одна від одної і не ближче 4 м від цементацийної завіси.



- 1 – профільтраційна завіса; 2 – зв’язуюча цементация;  
3 – укріплюючі цементация; 4 – дренаж основи.

Рисунок 1.3.1 – Цементация основи греблі Летієна (Іран)

Основним матеріалом для будівництва сучасних гравітаційних гребель є бетон, інколи частково армований. В кожній із зон профілю греблі бетон зазнає різних напружень і піддається неоднаковій фізико-хімічній дії. Вкладання бетону диференціюється: зі сторони напірної грані і біля підосви вкладається водонепроникний бетон; на низовій грані і гребені - морозостійкий; в зоні змінних рівнів води - водонепроникний і морозостійкий; на водозливній поверхні - стійкий до стирання. На рис. 3.2 показана схема влаштування глухої греблі.



- 1 - дренаж; 2 - оглядові колодязі; 3 - профільтраційна завіса;  
4 - дренажні свердловини; 5 - гребінь греблі.

Рисунок 1.3.2 – Глуха гребля



Дренажні пристрої представляють собою систему вертикальних (рідше горизонтальних) дрен круглого перерізу. Вертикальній дрени мають діаметр 20...30 см з кроком 2...4 м.

Оглядові галереї – служать для огляду внутрішніх частин греблі, для розміщення вимірювальної апаратури, для службового сполучення. Мінімальна ширина оглядових галерей складає 1,25...2 м, при необхідній ширині проїзду 2...3м, висота – 3м і більше.

Гребінь греблі – використовується для проїзду і має дорожнє покриття з тротуаром і парапетом. Перевищення гребеня над НПР (нижнім підпірним рівнем) [6]:

$$h_s = \eta_{1\%} + \Delta h_{\text{set}} + a, \quad (1.3.1)$$

де  $\eta_{1\%}$  – перевищення над НПР верху хвилі 1% забезпеченості;

$\Delta h_{\text{set}}$  – висота вітрового нагону;

$a$  – запас, який залежить від класу споруди.

2. Профілі водозливних гребель являють собою стінки з плавним обрисом поверхні. Форма оголовку водозливу визначає характер течії води, коефіцієнт витрати, режим тиску струмини. Оголовки практичного профілю можуть бути безвакуумними – в них при розрахунковому напорі не виникає вакуум на водозливній поверхні і вакуумними, в яких вакуум виникає, що призводить до підвищення коефіцієнта витрати водозливу. Безвакуумні мають найбільш розповсюдження.

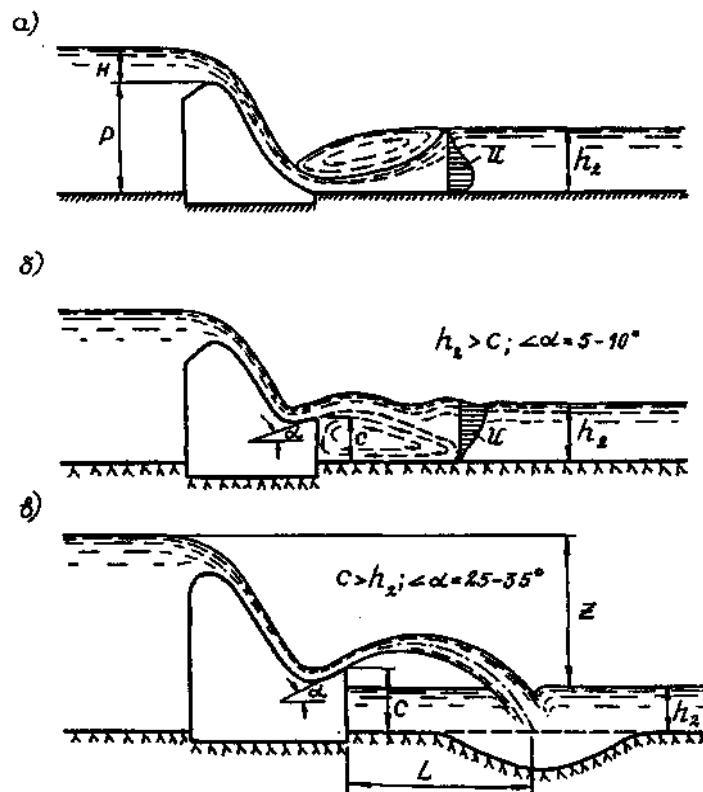
Спряження водозливної грані греблі з дном нижнього б'єфа може виконуватись (рис. 1.3.3):

- у вигляді криволінійної вставки – при такому спряженні у нижньому б'єфі виникає донний режим у вигляді затопленого донного гідравлічного стрибка. Величина радіуса криволінійної вставки:

$$R = (0,2 - 0,5) (H + P) \quad (1.3.2)$$

- у вигляді носка-уступа – при відповідних значеннях  $C$  і  $h_2$  в нижньому б'єфі встановлюється поверхневий режим. Крига, яка скидається через греблю, не вдаряється в дно нижнього б'єфа. Така схема використовується для пропуску великої кількості криги.
- у вигляді носка трампліна – для випадків, коли глибина нижнього б'єфа  $h_2$  значно менша другої спряженої глибини гідравлічного

стрибка  $h_2^*$ .



а – плавне; б – у формі носка-уступа; в – у формі носка-трампліна.

Рисунок 1.3.3 – Спряження водозливної греблі з дном нижнього б'єфа

4. Нескельні або м'які породи це незв'язані (сипучі) та зв'язні ґрунти. Перша група – це гравелісти, галькові, піщані ґрунти та їх суміші. Зв'язні ґрунти – це глини, суглинки, льоси, мули. Особливо несприятливими для будівництва є лінзи з слабких мулистих та глинистих порід, вони нерідко суттєво впливають на конструкцію греблі.

Глибина закладання підшови греблі на нескельній основі визначається заляганням ґрунту з необхідною несучою спроможністю і опором зсуву, фільтраційними характеристиками основи. Поверхневий шар заплавних ґрунтів знімається, усуваються слабкі прошарки мулистих і глинистих ґрунтів. Підшова водобою заглиблюється під меженеві рівні води в річці.

Основні розміри підземного контуру греблі:

(1,5÷2,5) Н – ширина підшови греблі;

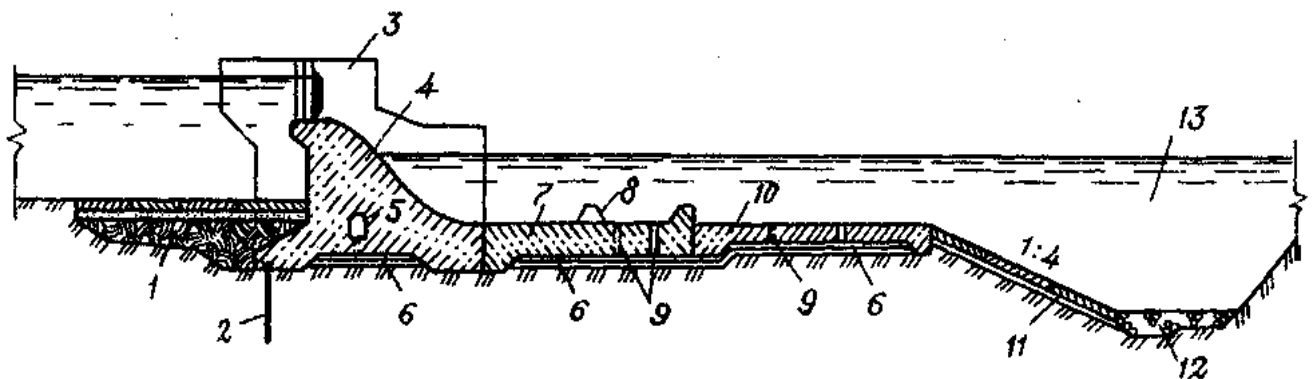
де  $H$  – напір на греблю;

$(1,0 \div 1,5) H$  – довжина понуру греблі;

$(0,5 \div 1,5) H$  – довжина основного (королевого) шпунта біля верхової грані тіла греблі;

2 – 4 м – довжина шпунта біля низової грані греблі.

Схема влаштування греблі на нескельній основі показана на рис. 3.4.



1 – понур; 2 – шпунт; 3 – проміжний бак; 4 – гребля; 5 – дренажна галерея;

6 – дренаж і зворотний фільтр; 7 – водобій; 8 – гасителі енергії; 9 – дренажні отвори; 10 – рисберма; 11 – запобіжний укіс; 12 – кам'яна призма; 13 – ківш.

Рисунок 1.3.4 – Водозливна гребля на нескельній основі

Понури гравітаційних гребель на нескельних основах поділяються на гнучкі і жорсткі.

Гнучкі понури повинні бути деформативними, тобто прямувати за деформаціями основи. Їх виконують з глини, суглинки, асфальту, глинобетону, синтетичних матеріалів. Товщина такого понуру в будь-якому перерізі становить [7]:

$$S = \Delta H / J_{\text{доп}} , \quad (1.3.3)$$

де  $\Delta H$  – різниця між тиском води на понур зверху і знизу;

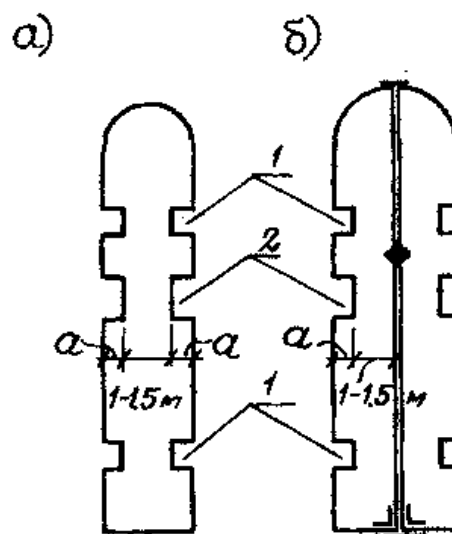
$J_{\text{доп}}$  - допустимий градієнт фільтрації через понур, для глини приймається 6...8, для суглинків – 4...5.

Жорсткі понури влаштовують на щільних основах у вигляді покриття з бетону, залізобетону з розрізкою їх швами на окремі плити.

Шпунти застосовують сталеві, залізобетонні і рідше дерев'яні. Сталеві шпунтові завіси влаштовують методом вібрування на глибину 12...25 м, або методом підмиву на глибину до 50 м.

Дренажі конструктивно складаються з порожнини в тілі греблі або під нею, заповнених крупним матеріалом (галька, щебінь, каміння). Вода з дренажу під греблею відводиться у нижній б'єф через галереї в столпах і биках, а з дренажу під водобоем – через отвори в ньому.

Бики служать для опирання прогінних будівель службових мостів і підкранових шляхів (рис. 1.3.5). Їх розміри визначаються типом і конструкцією затворів, розмірами водозливних отворів, а також конструкцією прогінних будівель мостів.



- а) нерозрізних; б) розрізних; 1 – лаз аварійно-ремонтного затвора;  
2 – паз робочого затвора.

Рисунок 1.3.5 – Схеми биків

5. Гравітаційні бетонні греблі мають наступні переваги:

- надійні при будь-якій висоті та в будь-яких кліматичних умовах;
- порівняно прості за конструкцією, умовами зведення та експлуатації;
- можуть виконуватись як глухими, так і водозливними.

Недоліки:

- недовикористання міцності бетону (напруження в ньому при висоті греблі до 100м не досягають граничних значень);
- значні затрати будівельних матеріалів: каміння, піску, цементу;
- недостатня монолітність у випадку появи в бетонній кладці температурно-усадочних деформацій.

Серед способів покращання гребель шляхом їх здешевлення і „полегшення” можливі наступні:

- зниження фільтраційного протитиску на підшві гребель (греблі з розширеними поперечними швами);
- знаття розтягуючих напружень в бетоні тіла греблі шляхом штучного стиску бетонної кладки і притиску її до основи;
- заміна бетону у внутрішній частині греблі більше дешевим матеріалом – піском, щебенем, галькою.

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. На яких ґрунтах споруджуються бетонні греблі?
2. Як визначається перевищення гребня греблі над НПР?
3. Як виконується спряження водозливної грані греблі з дном нижнього б'єфа?
4. Як влаштовується підшва греблі на нескельній основі?
5. Основні конструктивні елементи водозливної греблі на нескельній основі.
6. Які переваги та недоліки мають гравітаційні бетонні греблі?
7. Які способи можна застосовувати для здешевлення та „полегшення” гравітаційних гребель?

## Лекція 13. Канали та споруди на них

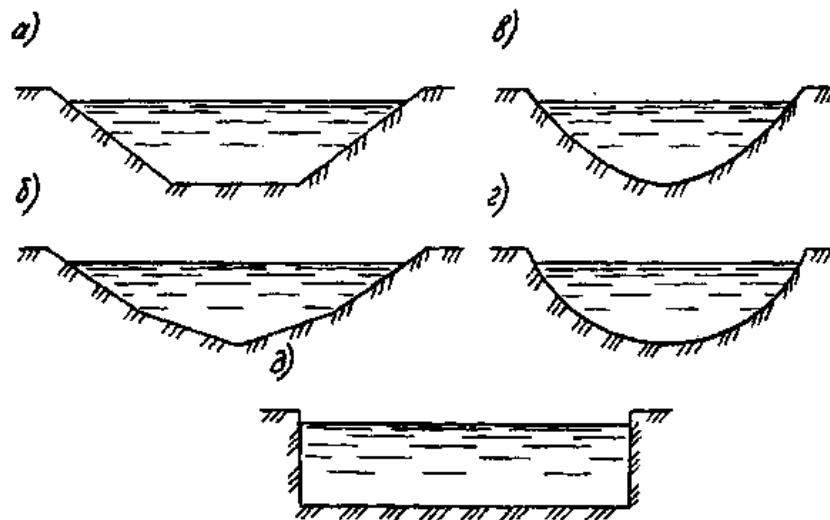
**Мета лекції:** ознайомлення з видами каналів, усвідомлення особливостей роботи регулюючих споруд, засвоєння конструктивних особливостей водопровідних споруд, розуміння принципів роботи спрягаючих споруд.

### План

1. Загальні відомості про канали та їх класифікація.
2. Регулюючі споруди.
3. Водопровідні споруди.
4. Спрягаючі споруди.

1. **Канали** – це відкриті штучні русла, призначені для транспортування води для народно-господарських потреб.

Поперечний переріз каналу визначається його підводною (живий переріз) та надводною частинами. Форми живого перерізу представлені на рис. 1.4.1.

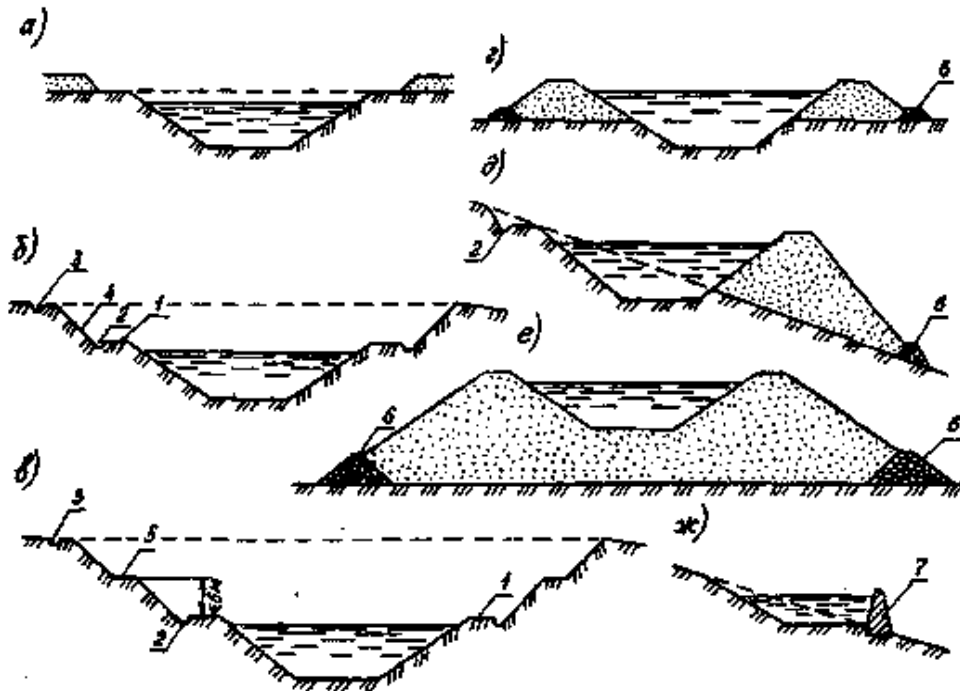


- а) трапецієвидна; б) полігональна; в) параболічна; г) напівкругла;  
д) прямокутна.

Рисунок 1.4.1 – Форми живого перерізу каналів

Досить часто канали проектуються у виїмках, при цьому через кожні 6 м висоти каналу влаштовують непроїжджі бермі шириною не менше 1 м (рис. 1.4.2 а-в). Трапецієвидний переріз каналу влаштовується при його розміщенні на косогорі (рис. 1.4.2 д), при крутих схилах одна сторона каналу

виконується у вигляді підпірної стінки (рис.1. 4.2 ж). Проектування каналів в насипку (рис. 1.4.2 е) є невигідним рішенням, оскільки в цьому випадку досить значний об'єм земляних робіт.



а-в – у виямках; г, д – в напіввиїмці-напівнасіпку; е – в насипу;  
 ж – на косогорі; 1 – берма; 2 – кювет; 3 – канава; 4 – сухий укіс;  
 5 – проміжна берма; 6 – дренаж; 7 – підпірна стінка.

Рисунок 1.4.2 – Поперечні перерізи каналів

Для захисту каналів від розмиву течією влаштовують різні облицювання та покриття: кам'яні, бетонні, залізобетонні, асфальтобетонні, глинобетонні, з полімерних матеріалів.

Трасування каналів виконується із врахуванням топографічних, інженерно-геологічних умов та призначення каналу. Так траси осушувальних каналів вибираються на низьких відмітках місцевості, а зрошувальних каналів, навпаки, на високих відмітках.

Основні розрахунки каналів проводяться для рівномірного та нерівномірно руху.

Найвигідніший переріз каналу в гідравлічному відношенні є такий, що має найбільше значення гідравлічного радіуса. Для трапецієвидних каналів:

$$b / h = 2 (\sqrt{1+m^2} - m) , \quad (1.4.1)$$

де  $b$  - ширина каналу низом;

$h$  - глибина води;

$m = \text{ctg} \alpha$  - коефіцієнт закладання укосу.

На практиці співвідношення приймають більшим, ніж розрахункове значення (рис. 1.4.3).

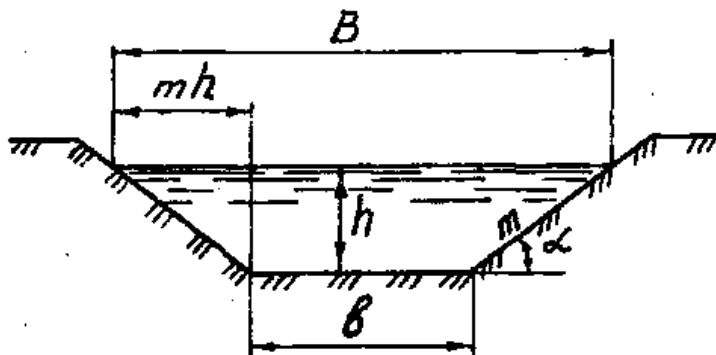


Рисунок 1.4.3 – Параметри живого перерізу трапецієвидних каналів

Середня швидкість води в каналі  $V_m$  повинна відповідати умові:

$$V_s \leq V_m \leq V_{adm} , \quad (1.4.2)$$

де  $V_s$  – незамулююча швидкість;

$V_{adm}$  - нерозмивна швидкість [8].

Середня незамулююча швидкість [8]

$$V_s = e \sqrt{R} , \quad (1.4.3)$$

де  $e$  - коефіцієнт, що визначається за рекомендацією І.І. Леві [9]:

$$e = 0,1 \frac{\omega}{\sqrt{d_{\text{н\ddot{o}}}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{0,01} \cdot \frac{0,0225}{n}} , \quad (1.4.4)$$

де  $\omega$  – гідравлічна крупність завислих наносів діаметром  $d_{\text{ср}}$ , мм;

$\rho$  - відсоток (за масою) завислих наносів розміром більше 0,25 мм;

$n$  - коефіцієнт шорсткості русла;

$R$  - гідравлічний радіус, м.



Нерозмивна швидкість для каналів, що проходять в незв'язаних ґрунтах, визначається за залежністю Б.І. Студеничникова [8]

$$V_{adm} = 3,6 (h d_{cp})^{0.25}, \quad (1.4.5)$$

де  $h$  – глибина потоку, м;

$d_{cp}$  - середній діаметр частинок ґрунту ложа каналу, м.

Питома витрата води на фільтрацію визначаються для каналів без екрана в однорідному ґрунті за формулою Костякова [10]

$$q = K (b + 2.5 h \sqrt{1+m^2}), \quad (1.4.6)$$

де  $K$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту; для екранованого каналу при відсутності підпору визначається за залежністю [8]

$$q = K_a + \frac{h+e}{e} (b + h\sqrt{1+m^2}), \quad (1.4.7)$$

де  $K_b$  – коефіцієнт фільтрації екрана;

$e$  - товщина екрана.

За господарським призначенням канали поділяють на :

- енергетичні (для підведення води з водосховищ до дериваційних гідроелектростанцій);
- водопровідні (для водопостачання населених пунктів);
- зрошувальні (подають воду на зрошувальні системи);
- осушувальні (для осушення заболочених територій);
- судноплавні (входять до складу воднотранспортних магістралей);
- рибохідні (для подачі води в нерестилища);
- лісосплавні (для сплаву деревини в місцях розробок).

За способом подачі води канали поділяються на самопливні та машинні, вода в які подається за допомогою насосних станцій.

За капітальністю поділяються на 4 класи капітальності.

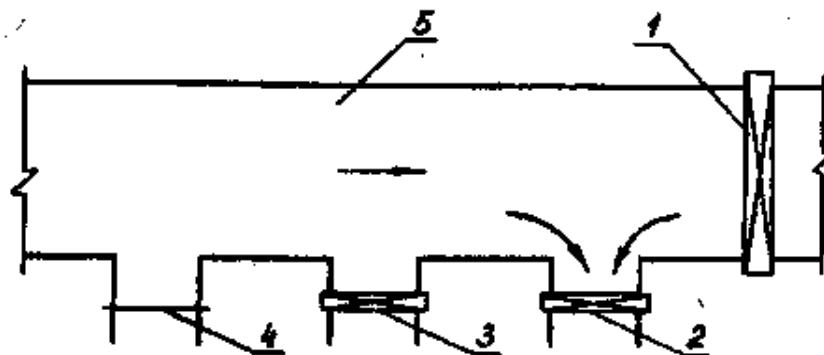
За геологічними умовами поділяють на такі, що проходять в нескельних та скельних ґрунтах.

За характером уклону бувають канали з прямими, зворотними та нульовими уклонами.

2. **Регулюючі споруди** влаштовують для регулювання кількості води, що подається в систему, при необхідності регулювання рівнів води в каналах, для аварійного скидання лишків води. За призначенням регулюючі споруди поділяються на:

- підпірні – для створення підпору та регулювання рівнів води;
- регулятори – водовипуски – для регулювання подачі води в канал;
- водоскидні – для скидання води при переповненні каналів;
- промивні – для недопущення попадання насосів в канал;
- вододільники – для поділення витрати води між декількома каналами.

Регулюючі споруди компонуються на каналах для вирішення декількох задач, утворюючи вузол споруд (рис.1. 4.4).



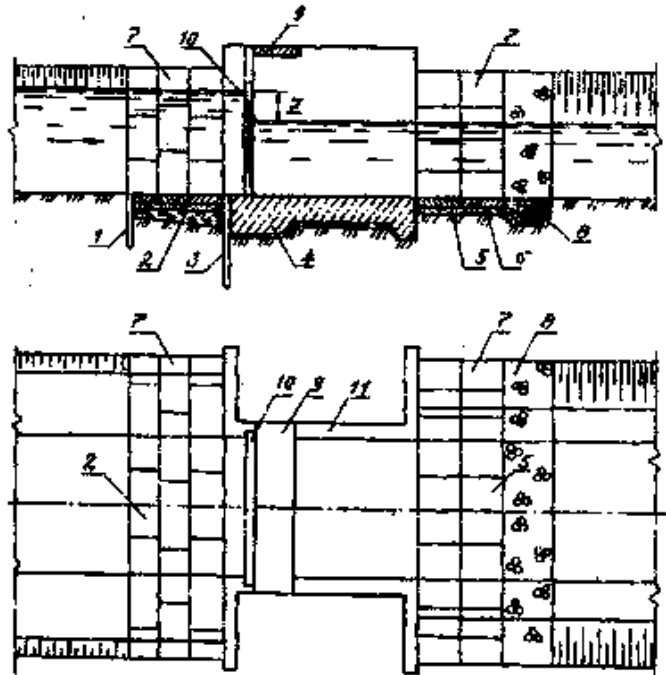
1 – підпірний регулятор; 2 – промивний регулятор; 3 – бічний регулятор-водовипуск; 4 – аварійний скид; 5 – магістральний клапан.

Рисунок 1.4.4 – Схема розміщення споруд на каналі:

Регулятори – це масові споруди на мережі, їх вартість складає 40-60% від вартості всієї системи.

За конструктивними ознаками регулятори поділяють на відкриті та закриті або діафрагмові та трубчасті.

Відкриті регулятори складаються з флютбету, поздовжніх стінок, затворів, підйомних механізмів та мостів. Таким регулятором надається перевага при малих глибинах в каналах та незначних коливаннях рівня верхнього б'єфа; при необхідності пропуску в нижній б'єф плаваючих предметів; коли максимальну витрату необхідно пропустити при незначному гідравлічному перепаді (0,1 м та менше).



- 1 – понурій шпунт; 2 – понур; 3 – королевий шпунт; 4 – водобій;  
 5 – рисберма; 6 – зворотний фільтр; 7 – кріплення укосів плитами;  
 8 – кам'яна призма; 9 – службовий місток; 10 – затвор; 11 – берегові  
 стояки.

Рисунок 1.4.5 – Відкритий регулятор на каналі

До недоліків відкритих регуляторів слід віднести необхідність влаштування службового, іноді і проїжджого мостів.

Вододільники – це відкриті регулятори, які забезпечують поділ води між двома та більше каналами в певних співвідношеннях (рис.1. 4.6).

Розподільні вузли розміщують в місцях розгалуження каналу на декілька менших відвідних каналів (рис.1.4.7).

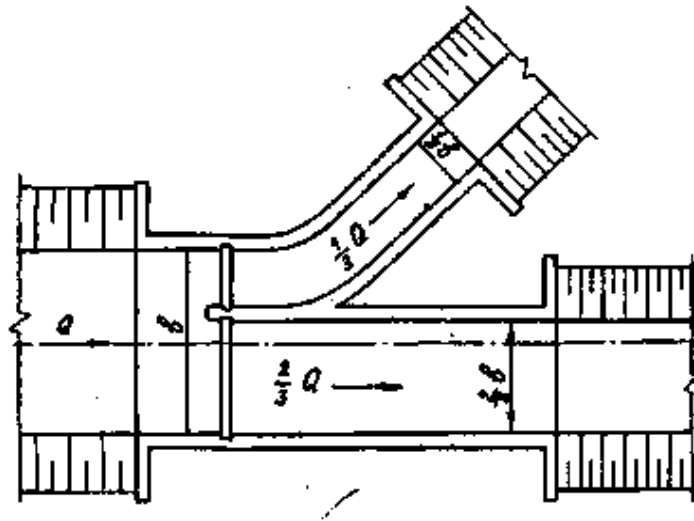
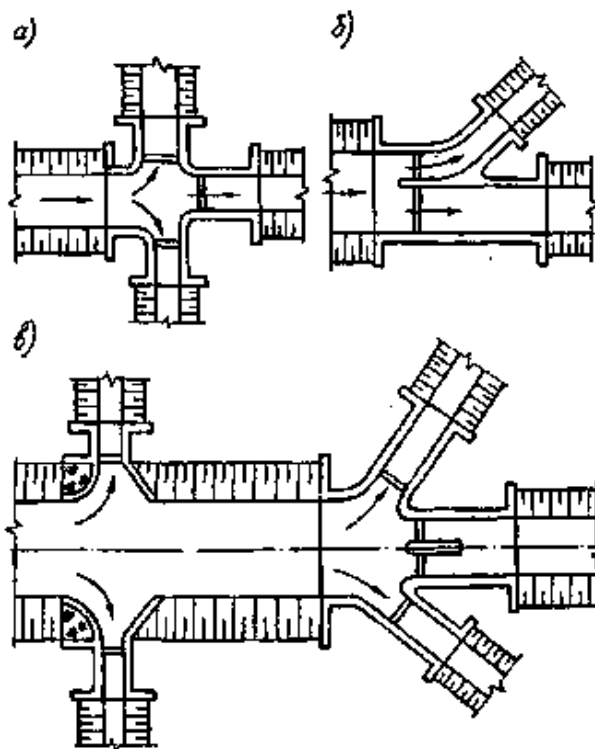


Рисунок 1.4.6 – Схема пропорційного вододільника



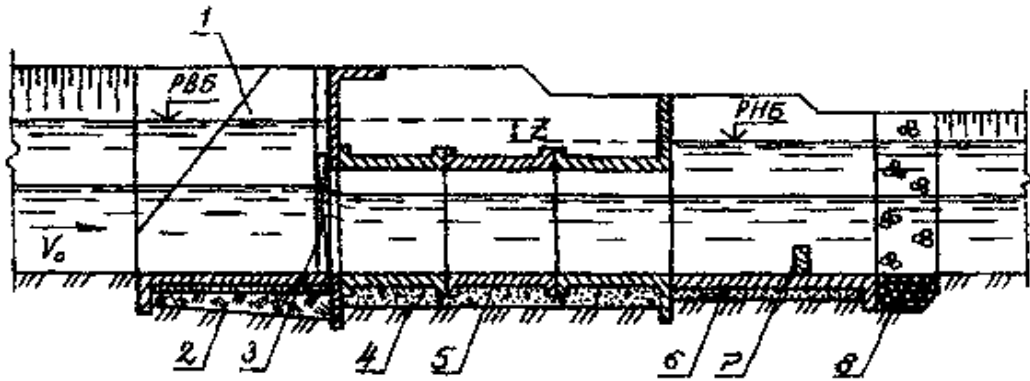
а, б – зближена; в – віддалена.

Рисунок 1.4.7 – Схема компоновки розподільних вузлів:

Трубчасті закриті регулятори складаються з труб, вхідного та вихідного оголовків, затворів, гасителів енергії в нижньому б'єфі. Їх застосовують при проходженні каналу в глибокій виїмці; при коливаннях рівня верхнього б'єфа 0,5м та більше; коли при великих напорах пропускають малі витрати.

До недоліків цих споруд можна віднести складність оглядів та профілактичних ремонтів, зміни гідравлічних режимів. Схема трубчастого

регулятора представлена на рис.1.4.8.



1 – пірнаюча стінка; 2 – пону́р; 3 – затвор; 4 – підготовка; 5 – ділянка труби;

6 – водобій; 7 – водобійна стінка; 8 – кам’яна призма.

Рисунок 1.4.8 – Трубчастий регулятор

Гідравлічним розрахунком визначаються розміри отворів, труб, умови пропуску витрат, безпечні умови спряження б’єфів. Розглянемо деякі схеми регуляторів на меліоративних системах:

1) схема пропуску витрати через регулятор „водозлив з широким порогом” (рис.1.4.9). Ця схема має місце при повному відкритті отвору регулятора.

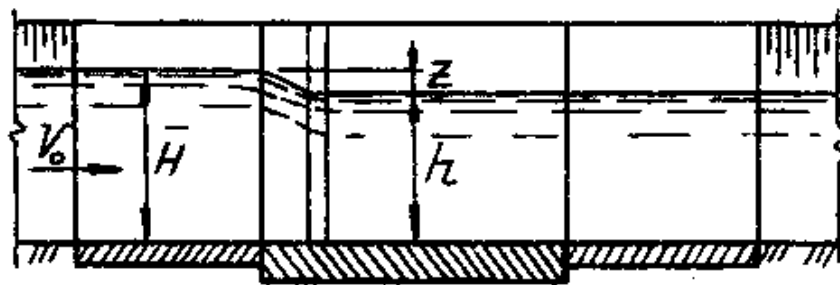


Рисунок 1.4.9 – Витікання через водозлив з широким порогом

Критерій підтоплення визначається за залежністю:

$$n = \frac{h}{H_0}, \quad (1.4.8)$$

де  $h$  – глибина води на порозі регулятора;

$H_0$  – глибина води перед спорудою.

$$H_0 = H + \frac{\alpha \cdot V_0^2}{2g}, \quad (1.4.9)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт кінетичної енергії;

$V_0$  – швидкість підходу.

Пропускна спроможність визначається при вільному витіканні за формулою:

$$Q = \varepsilon \cdot m \cdot b \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2}, \quad (1.4.10)$$

де  $Q$  – витрата води;

$\varepsilon$  - коефіцієнт бокового стиснення потоку;

$m$  - коефіцієнт витрати;

$b$  - ширина отвору споруди.

2) „Витікання з-під щита”. В процесі експлуатації можливе неповне відкриття щита для пропуску витрат. Пропускна спроможність  $Q$  при вільному витіканні (рис. 1.4.10 – 1.4.11) визначається за залежністю:

$$Q = \varepsilon \cdot \varphi \cdot \varepsilon_{\hat{a}} \cdot h_{\hat{u}} \cdot b \sqrt{2g(I_0 - \varepsilon_{\hat{a}} \cdot h_{\hat{u}})}, \quad (1.4.11)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт швидкості;

$\varepsilon_{\hat{b}}$  – коефіцієнт вертикального стиснення;

$h_{\hat{u}}$  – висота підняття щита.

При витіканні через затоплений отвір (рис. 1.4.11):

$$Q = \varepsilon \cdot \varphi \cdot \varepsilon_{\hat{a}} \cdot h_{\hat{u}} \cdot b \sqrt{2 \cdot g \cdot z_0}, \quad (1.4.12)$$

де  $Z_0$  – різниця рівнів води верхнього та нижнього б'єфів.

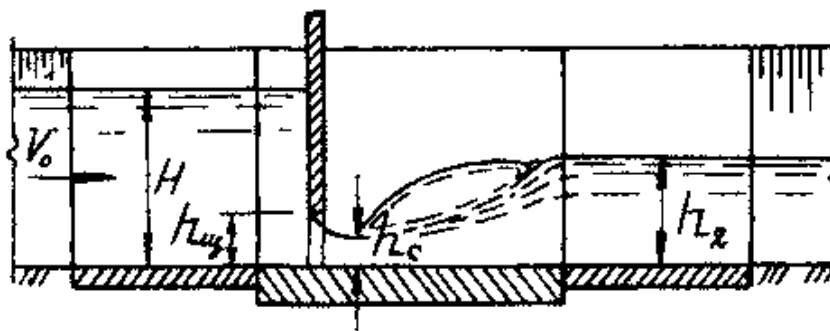


Рисунок 1.4.10 – Вільне витікання з-під щита

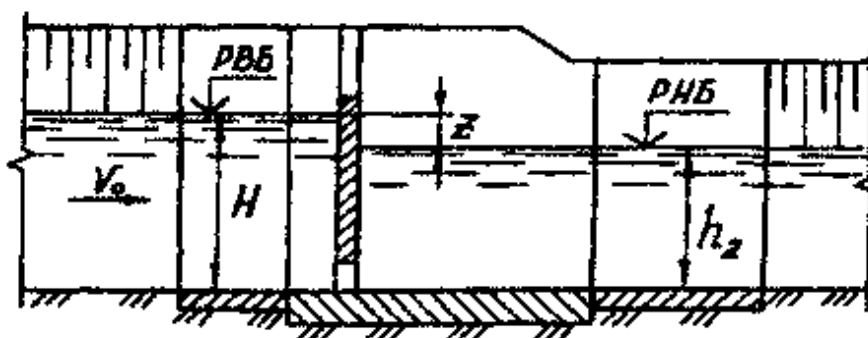


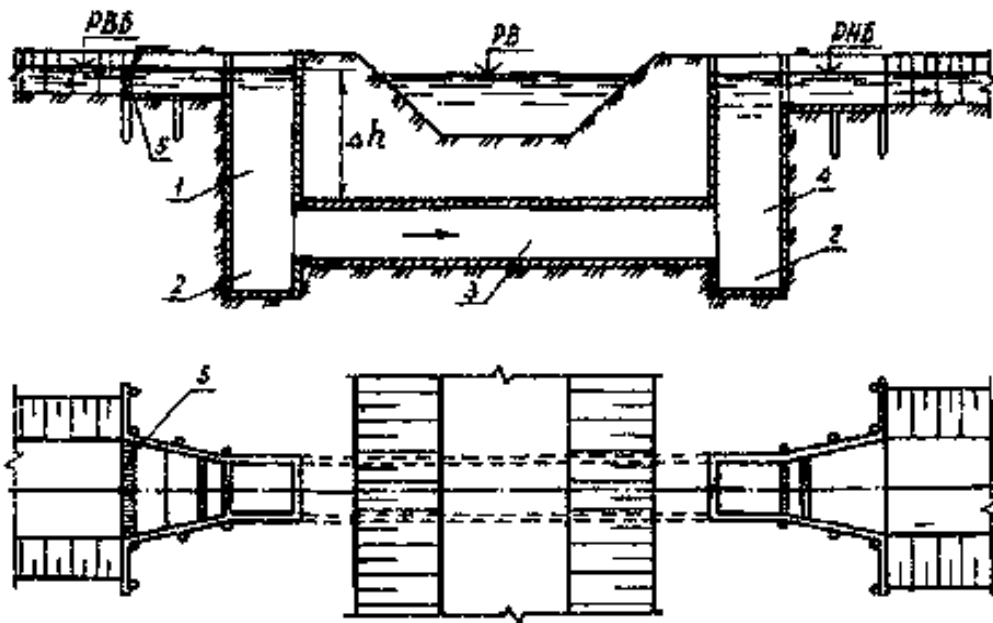
Рисунок 1.4.11 – Затоплене витікання з-під щита

3. Водопровідні споруди влаштовують для подолання перешкод, які зустрічаються на трасах каналу: долин, ярів, балок, пагорбів, косогорів, доріг, каналів. До таких споруд належать дюкери, акведуки, селепроводи, лотоки, трубчасті переходи, тунелі.

**Дюкери** – це напірні трубопроводи, які влаштовують для подолання перешкод у вигляді рік, доріг, балок, тощо. Вони споруджуються в умовах, коли немає можливості подати воду над перешкодою (відмітки каналу і перешкоди дуже близькі).

В залежності від матеріалу дюкери бувають дерев'яні (витримують тиск до 20 м), бетонні (при напорах до 30...50 м), залізобетонні (тиск до 100 м), металеві. Металеві дюкери через їх велику вартість споруджують при наявності спеціального обґрунтування.

За конструктивними особливостями дюкери поділяють на шахтні або колодязні (рис. 1.4.12) – для пропуску при невеликих напорах малих витрат та дюкери складної конструкції – для великих витрат і напорів (рис. 1.4.13).



1 – вхідний колодезь; 2 – грязьовик; 3 – горизонтальна труба;  
4 – вихідний колодезь; 5 – решітка.

Рисунок 1.4.12 – Дюкер колодезного типу

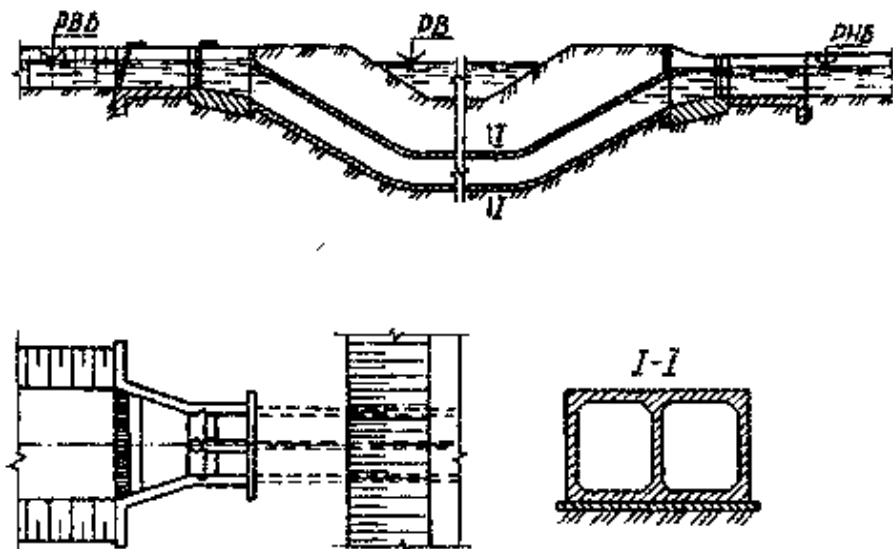


Рисунок 1.4.13 – Залізобетонний двохочковий дюкер

Основними частинами невеликого дюкера є вхідний та вихідний колодезі, а у дюкера складної конструкції – вхідний та вихідний оголовки, анкери і проміжні опори.



## Гідравлічні та статичні розрахунки дюкерів

Пропускна спроможність дюкера визначається за формулою:

$$Q = \mu \cdot S \sqrt{2 \cdot g \cdot z_0}, \quad (1.4.13)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати труби;

$S$  – площа поперечного перерізу труби;

$Z_0$  – різниця рівнів води верхнього та нижнього б'єфів.

Середня швидкість в трубі приймається в межах 1,5...4,0 м/с, але не менше, ніж швидкість в каналі.

Верхній край труби дюкера повинен бути занурений під мінімальний рівень води в каналі на  $\Delta h$ :

$$\Delta h = \frac{V_{\dot{a}}^2 - V_{\dot{e}}^2}{2g}, \quad (1.4.14)$$

де  $V_{\dot{d}}$  – швидкість води в дюкері;

$V_{\dot{k}}$  – швидкість води в підвідному каналі.

**Акведуки** – це водоводи у вигляді моста для пропуску води через перешкоди. Ці споруди влаштовують у випадках, коли відмітка перешкоди значно нижча, ніж рівень води в каналі та відмітки прогінної будови акведука (рис.1.4.14).

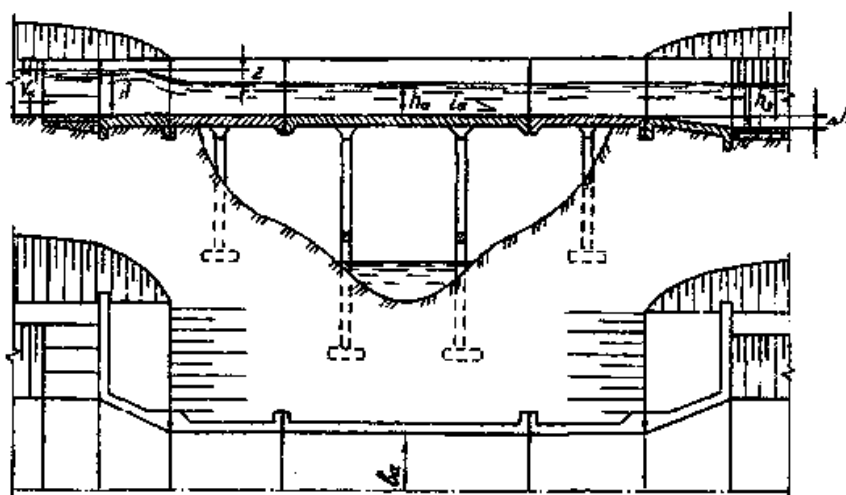


Рисунок 1.4.14 – Залізобетонний акведук

Вхідна та вихідна ділянки акведуків повинні забезпечити плавне спряження споруди з каналом в плані та у вертикальній площині. З метою недопущення підпору води в акведуці та верхньому каналі дно відвідного каналу спрягають за допомогою похилої перехідної ділянки.

Лотоки акведуків бувають прямокутні, параболічні, круглі. Іноді замість лотоків застосовують азбестоцементні труби для пропуску невеликих витрат (до  $2\text{ м}^3/\text{с}$ ). Лотоки параболічного та напівкруглого поперечного перерізу найчастіше застосовуються для пропуску витрат до  $10\text{ м}^3/\text{с}$ .

Гідравлічний розрахунок акведука включає розрахунок вхідної та вихідної ділянок і лотока. Вихідні дані: геометричні розміри каналу, витрата  $Q_p$ , швидкість води в каналі  $V_k$  і глибина води перед спорудою  $H$ . Швидкість води в акведуці  $V_a=1\text{...}2\text{ м/с}$ , для недопущення осідання наносів швидкість  $V_a$  приймається на 10-20% більшою, ніж швидкість в підвідному каналі.

Перепад рівнів води на вході в акведук приймається  $z=5\text{...}15\text{ см}$ . Глибина води в лотоці акведука

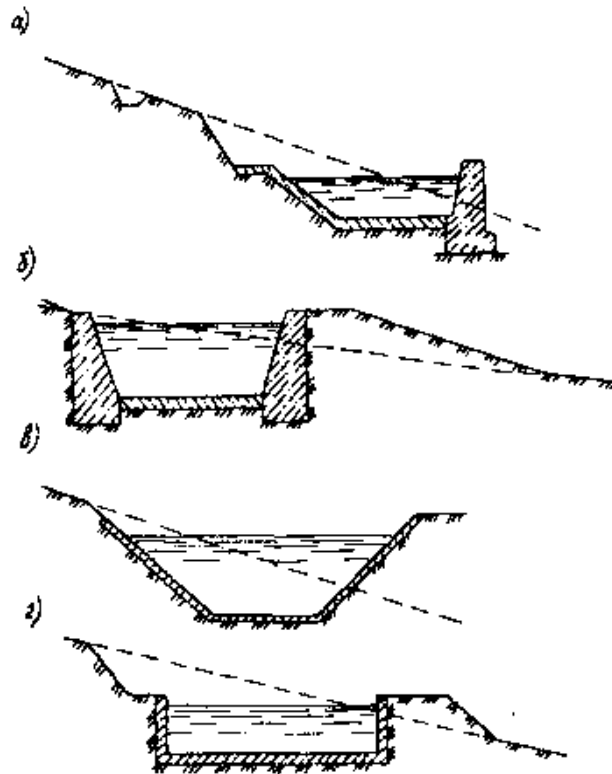
$$h_a = H - z . \quad (1.4.15)$$

Ширина лотока

$$b_a = Q_p / h_a \cdot V_a . \quad (1.4.16)$$

**Селепроводи** – це лотоки на опорах для пропуску селевих потоків через канали, дороги, ріки. Вхідна частина цих споруд представляє собою розтруб з укріпленими дном та дамбами, вихідна ділянка теж укріплюється та огорожується дамбами. Лоток облицьовується матеріалом з великим опором проти стирання. Ухил споруди приймається більшим, ніж ухил селевого русла.

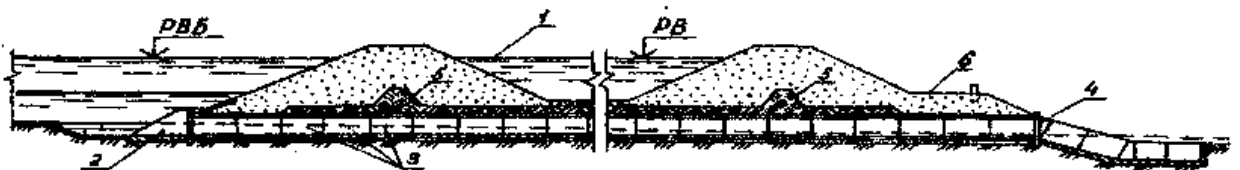
**Лотоки** – це штучні русла з дерева, бетону, залізобетону, металу, їх розміщують на поверхні землі або на опорах. Лотоки влаштовують на ділянках траси із складним рельєфом, несприятливими геологічними та гідрологічними умовами (рис.1.4.15).



а) складного профілю; б) монолітні; в) з облицюваннями; г) збірно-блочний

Рисунок 1.4.15 – Лотоки на косогорі

Труби-зливопроводи (зливоспуски) служать для пропуску невеликих водотоків під каналами, автомобільними та залізничними шляхами, збудованими з насипу (рис. 1.4.16).



1 – канал; 2 – вхідний оголовок; 3 – ланки труб; 4 – вихідний оголовок;  
5 – м'ята глина; 6 – дорога.

Рисунок 1.4.16 – Трубчастий зливопровід

За матеріалом труби можуть бути бетонними, залізобетонними, кам'яними, цегляними, металевими.

**Гідротехнічні тунелі** – це закриті водоводи, які прокладають в земній корі без виймання ґрунту, що знаходиться над ним. Тунелі будують в гірських умовах, а також при будівництві тимчасових та постійних водоскидів: коли вісь водоводу (каналу) знаходиться на значній глибині від земної поверхні; траса водоводу перетинає крутий схил, на якому можливі зсуви.

Гідравлічні розрахунки тунелів зводяться до визначення максимальної пропускної спроможності, перевірки їх на незамулюваність. В напірних тунелях меліоративного призначення швидкість води приймається 1,5...4,0 м/с, пропускна спроможність визначається за залежністю (1.4.16).

Для безнапірних тунелів швидкість течії приймається 1,5...2,5 м/с, пропускна спроможність визначається за формулою:

$$Q = S \cdot c \sqrt{R \cdot i}, \quad (1.4.17)$$

де  $S$  – площа живого перерізу каналу;

$C$  – коефіцієнт Шезі;

$R$  – гідравлічний радіус;

$i$  – ухил поверхні води.

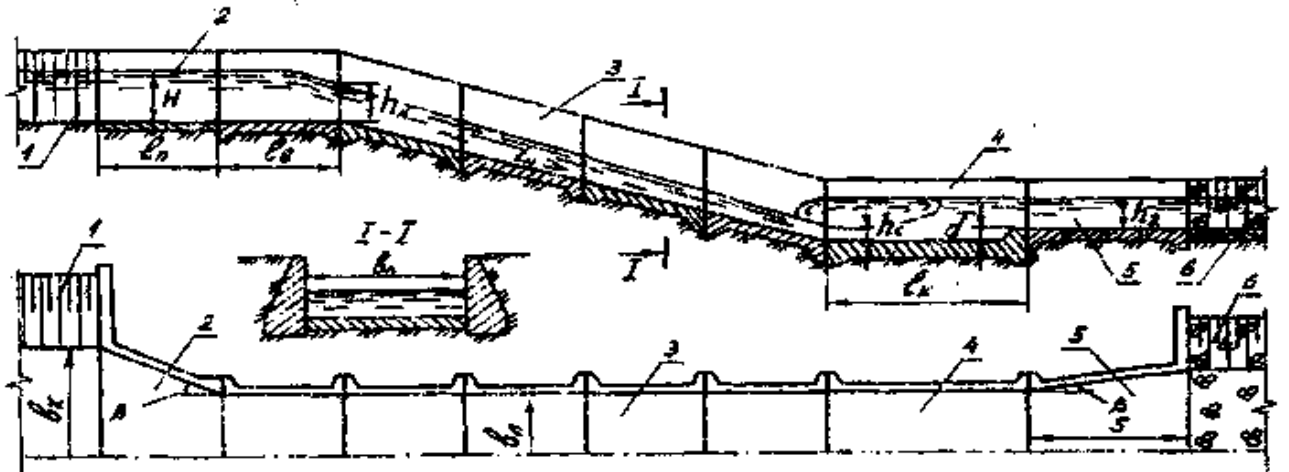
**Спрягаючі споруди** призначені для з'єднання верхньої та нижньої ділянки каналів при проходженні крутих схилів.

За умовами руху спрягаючі споруди поділяють на три групи:

- 1) швидкотоки і труби, по яких вода безперервно рухається по споруді;
- 2) східчасті і консольні перепади, по яких вода по частині шляху рухається у безпосередньому контакті із спорудою, а потім падає у повітря;
- 3) споруди перехідних форм, які включають елементи першої і другої груп (шахтні і трубчасті).

В межах спрягаючої споруди кінетична енергія гаситься різними шляхами: збільшеннями гідравлічного опору на шляху потоку (решітки, водобійні стінки, пороги); відкиданнями струмини від кінцевої частини споруди і утворенням ями розливу, тощо.

**Швидкотоки** – це спрягаючі лотоки, які мають уклон дна більший за критичний, вода при переході з верхнього каналу в нижній не відокремлюється від споруди (рис. 1.4.17).



1 – підвідний канал; 2 – вхід; 3 – лоток; 4 – гаситель; 5 – вихід;  
6 – відвідний канал.

Рисунок 1.4.17 – Бетонний швидкотік

Перепади – це спрягаючі споруди у вигляді східців, що з'єднують безнапірні ділянки на різних рівнях (рис. 4.18).

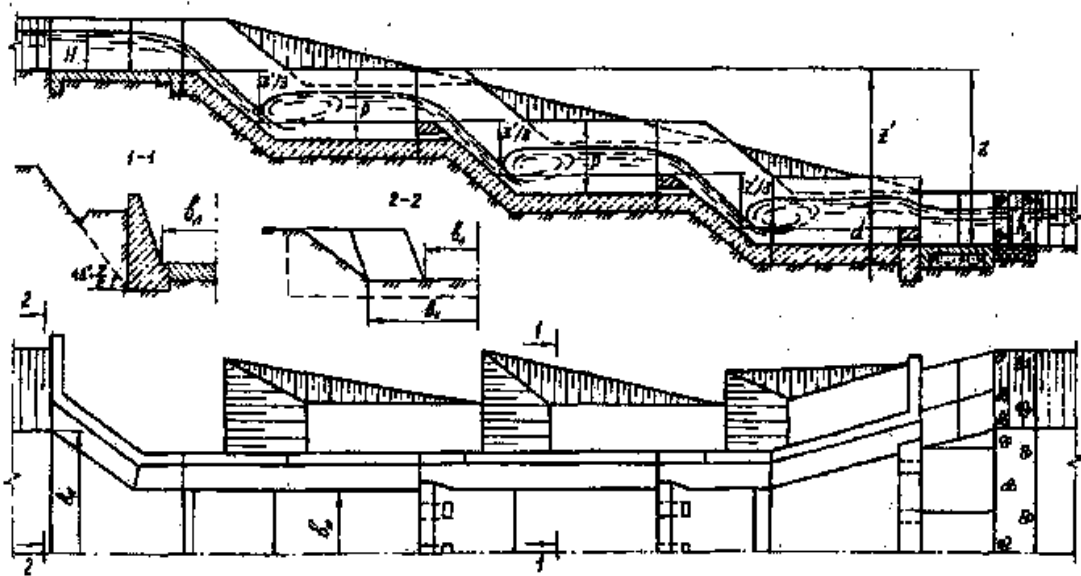


Рисунок 1.4.18 – Багатосхідчастий перепад

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Назвіть основні форми живого перерізу каналів та способи трасування при яких ці форми застосовуються.
2. Який переріз каналу є найвигіднішим у гідравлічному відношенні?
3. Якій умові повинна відповідати швидкість води в каналі?
4. За якими ознаками класифікують канали?

5. При яких умовах застосовуються відкриті регулятори?
6. При яких умовах застосовуються трубчасті закриті регулятори?
7. Які схеми регуляторів на меліоративних системах вам відомі?
8. Які водопровідні споруди вам відомі?



## Лекція 14. Регулювальні споруди

**Мета лекції:** ознайомлення з видами регулювальних споруд, усвідомлення особливостей роботи поздовжніх регулювальних споруд, засвоєння конструктивних особливостей поперечних регулювальних споруд, розуміння принципів роботи наскрізних споруд, усвідомлення заходів для призупинення впливу повеневих та селевих потоків.

### План

1. Класифікація регулювальних споруд, їх конструктивні елементи.
2. Поздовжні регулювальні споруди.
3. Поперечні регулювальні споруди.
4. Наскрізні споруди. Спрямування річкових звивин.
5. Боротьба з повеневими та селевими потоками.

1. Існує два види регулювання русел річок: загальне або повне – забезпечення на всьому протязі річки нормальної стійкості русла; часткове регулювання – виконання регулювальних робіт по окремих ділянках русла.

Регулювальні споруди класифікуються за наступними ознаками:

- 1) за призначенням (струмененапрямні; огорожувальні дамби; берегозакріплювальні споруди; загати – споруди, які повністю перекривають русло річки; поверхневі і донні струмененапрямні системи);
- 2) за строком служби: постійні і тимчасові;
- 3) в залежності від будівельних матеріалів та конструкцій: плотові, ґрунтові, дерев'яні, бетонні;
- 4) за розташуваннями відносно русла: поздовжні і поперечні;
- 5) за характером дії на потік: монолітні та наскрізні;
- 6) за відношенням до рівнів води: споруди, що затоплюються і споруди, що не затоплюються.

Найбільш поширені наступні конструктивні елементи регулювальних споруд:

- 1) прутяні канати – застосовують для з'єднання хмизової кладки;
- 2) хмизові тюфяки, що складаються з декількох шарів розстеленого хмизу; які стягнуті між двома сітками з прутяних каналів і привантажені камінням;
- 3) сипаї – триногі або чотириногі козли висотою 2...5 м, які виготовляють з деревин, брусків, рейок, труб та скріплюють дротом (рис. 1.5.1 а);
- 4) габіони і габіонні тюфяки – мають форму циліндрів або ящиків з стінками з сітки, що виготовляється з дроту, заповнених камінням,



щебенем (галькою) (рис. 1.5.1 б).

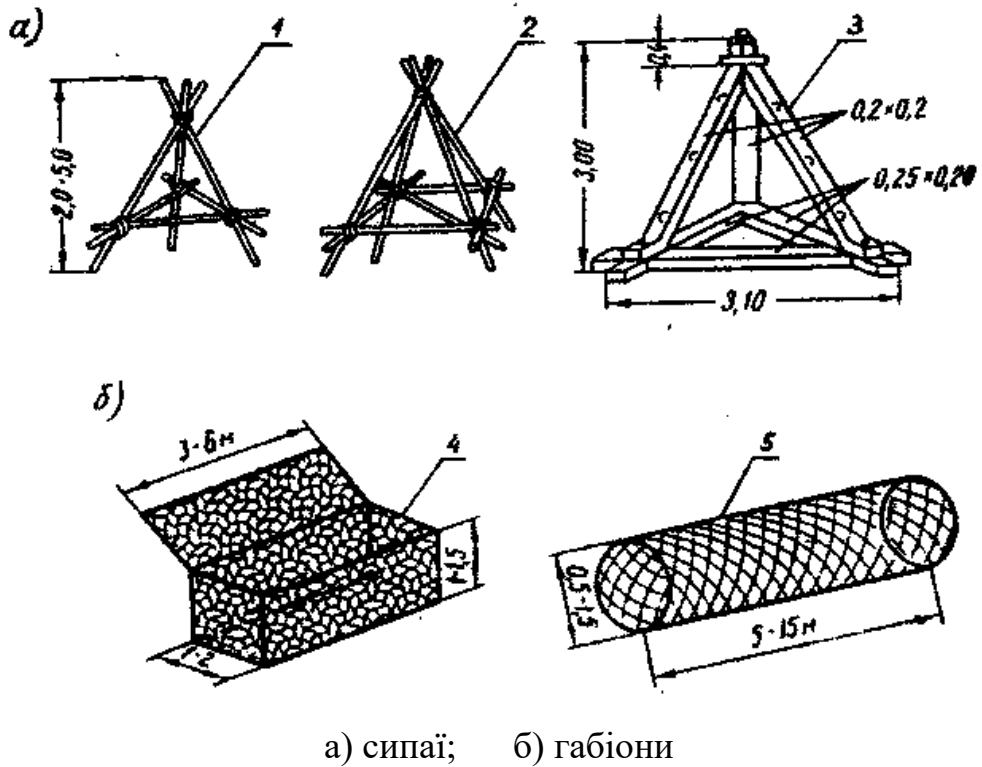
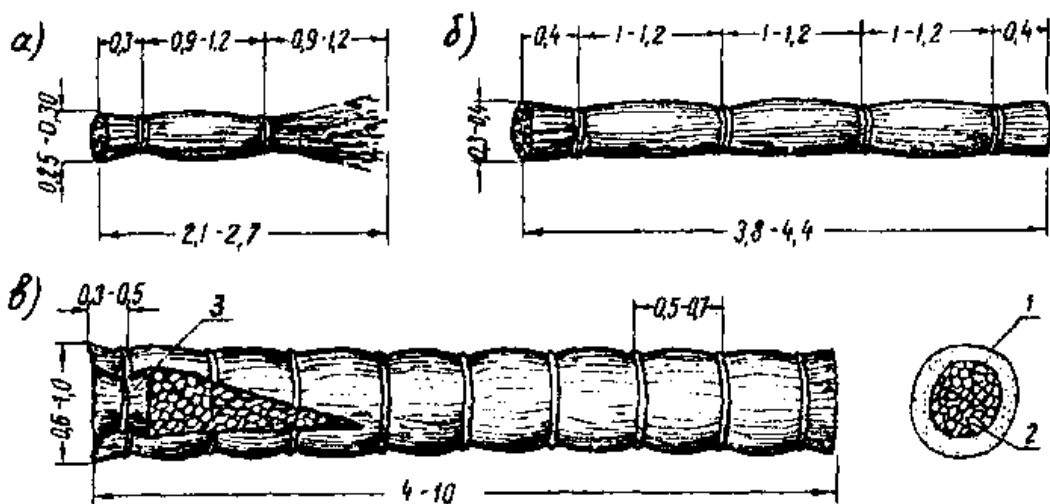


Рисунок 1.5.1 – Конструктивні елементи регулювальних споруд

5) хворостяні фашини поділяють на легкі (пучок хмизу діаметром 0,25...0,30 м, що перетягується в декількох місцях) та важкі (циліндрична хмизові оболонка, що заповнюється щебенем, камінням, ґрунтом).



а) однокомлева; б) двокомлева; в) важка фашина:

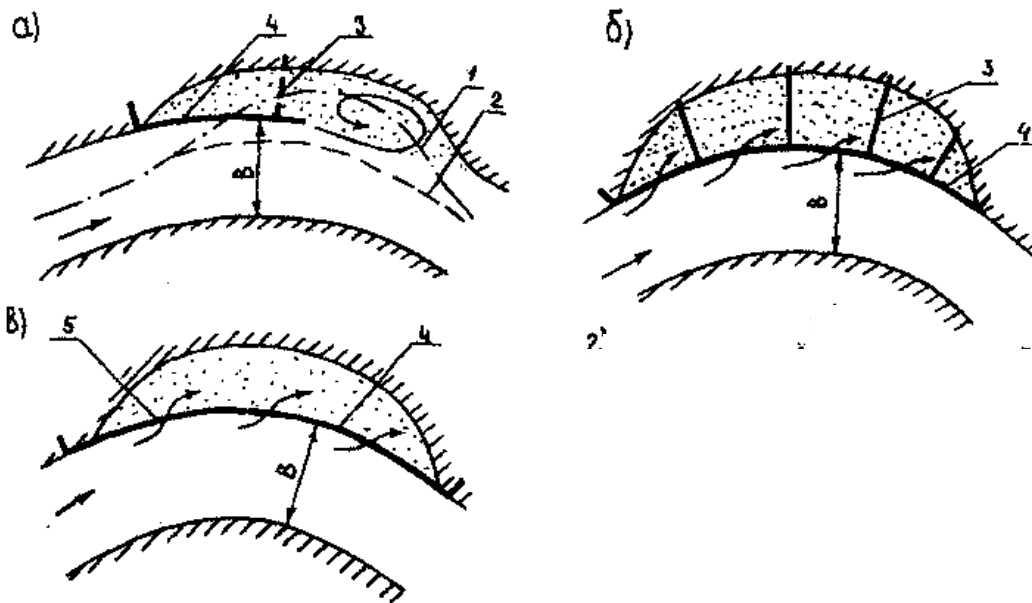
1 – хмиз; 2 – каміння; 3 – пробка з хмизу (розміри в м).

## Рисунок 1.5.2 – Типи фашин

2. Основні види поздовжніх масивних споруд – струмененапрямні і огороджувальні дамби.

Струмененапрямні дамби створюють основну лінію річкового потоку в руслі, що регулюється. В залежності від розташування в плані розрізняють (рис.1.5.3):

- 1) незалежні дамби, нижче яких за течією виникає коловорот з малими швидкостями вздовж берега, що викликає його розмив (рис. 1.5.3 а);
- 2) дамби, що затоплюються, з траверсами (для гасіння швидкості течії, що виникає за дамбою, між нею та берегом встановлюються поперечні дамби-траверси) (рис.1.5.3 б);
- 3) дамби, що не затоплюються, з отворами (для проникнення завислих наносів за дамби) (рис. 1.5.3 в).



- а) незамкнена дамба; б) дамба, що затоплюється з траверсами;  
в) дамба, що не затоплюється з отворами.

Рисунок 1.5.3 – Розташування струмененапрямних дамб в плані:

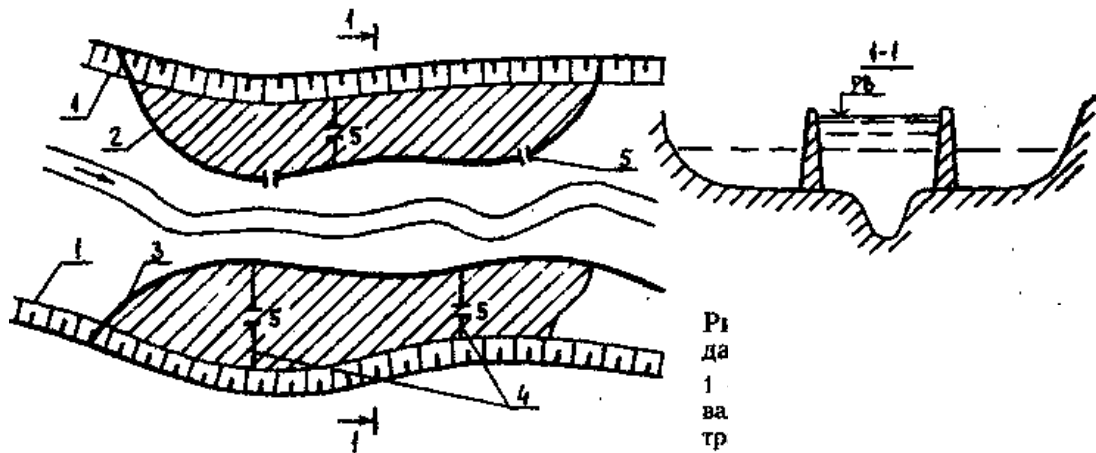
Огороджувальні дамби застосовують для захисту ділянок місцевості від затоплення.

Обваловування дамб може бути замкнене і незамкнене.

В замкнених дамбах місцевий стік затримується в низинах обвалованої

території, потім скидається через спеціальні труби, що встановлюються під дамбами.

Незамкнені дамби споруджують на річках з великими уклонами та широкою заплавою. Поперечні вали – це траверси, які встановлюють для зменшення площі затоплення у випадку прориву огорожувальної дамби. На рис. 1.5.4 показана схема розташування дамб обваловування.



- 1 – межа заплави; 2 – замкнений вал; 3 – незамкнений вал;  
4 – траверси; 5 – отвори.

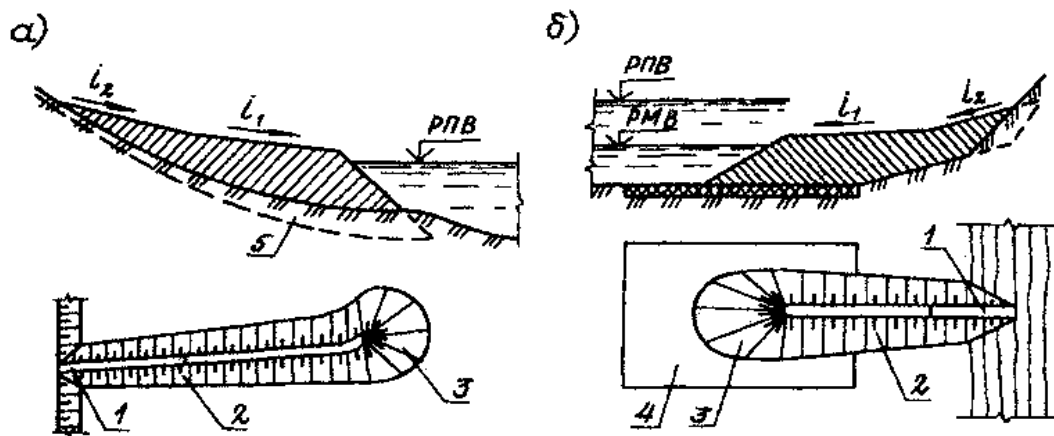
Рисунок 1.5.4 – Схема розташування дамб обваловування

3. Основні види поперечних споруд – це півзагати, донні загати і донні пороги.

Півзагати поділяють на три типи за висотою гребеня по відношенню до рівня води в річці:

- донні, які затоплюють в межінь, призначені для захисту берегових споруд від розмиву;
- меженні, які затоплюються в повінь, призначені для регулювання меженного русла і захисту берегів;
- паводкові, що не затоплюються, застосовуються для захисту берегів і регулювання русел при середніх та високих рівнях води.

На рис. 1.5.5 показані типи півзагат і їх основні елементи.



а – півзагата з місцевого ґрунту; б – півзагата з різних кладок; 1 – корінь;

2 – тіло; 3 – голова; 4 – донний тюфяк; 5 – котлован.

Рисунок 1.5.5 – Типи півзагат і їх основні елементи

Корені та голови – це найбільш відповідальні частини напівзагат. Для захисту коренів від розмиву, споруди врізають в берег на 2...6 м та міцно укріплюють. Прикореневі ділянки також захищають від розмиву: для цього їх укріплюють із сторони верхнього б'єфу – на довжині 10...15 м, та із сторони нижнього б'єфу – на 15...20 м від осі споруди. Укоси в головній частині споруди влаштовують пологими (1:3 – 1:5). Від підмиву напівзагату захищають фартухи із хмизових та залізобетонних тюфяків, габіонів, що обмежує поглиблення ями розмиву. Якщо півзагати зводять з місцевого ґрунту, їх укоси кріплять більш міцним матеріалом.

Донні пороги влаштовують в спеціально підготовлених траншеях, розташованих у товщі потоку, для закріплення відміток дна русла там, де очікується розмив.

4. Наскрізні регулювальні споруди проникливі для води на відміну від монолітних (суцільних) споруд. В деяких випадках вони більш економічні, ніж монолітні. Основні типи наскрізних споруд представлені на рис. 5.5.

Плотові загорожі (рис. 1.5.5 а) застосовують при глибинах до 1,5 м і швидкостях до 1,5 м/с.

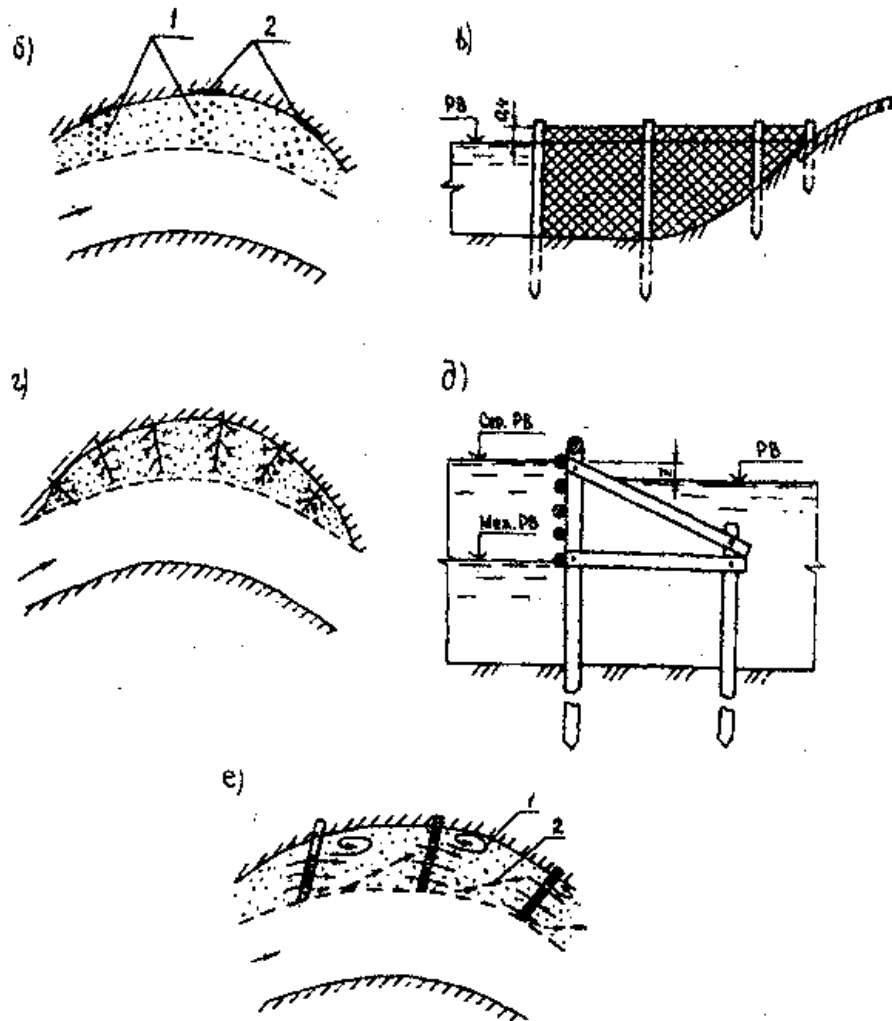
Пальові споруди (рис. 1.5.5 б) влаштовують у вигляді дамб, поздовжніх опоясок, поперечних шпор вздовж лінії берега.

Сітчасті споруди (рис. 1.5.5 в) поділяють на стаціонарні (ряд кілків або

паль, до яких прибивається сітка з діаметром дроту 2...5 мм і комітками розміром 0,2...1,0 м) та плавучі.

Вищеназвані споруди зараз майже не застосовуються, їх використання було поширено у повоєнні часи.

Гілчасті споруди (рис. 1.5.5 г) застосовують для нарощення мілини, створення умов для замулення бокових рукавів та глибоких вимоїн. Це споруди для тимчасового регулювання русла.



а – однорядний плетінь; б – паливі півгазати; в – стаціонарна сітчаста споруда; г – поперечні гілчасті споруди; д – щитова споруда; е – наскрізні півгазати. Схема б: 1 – окремі пані; 2 – кріплення берега. Схема е: 1 – траєкторія поверхневих струмин; 2 – траєкторія донних струмин.

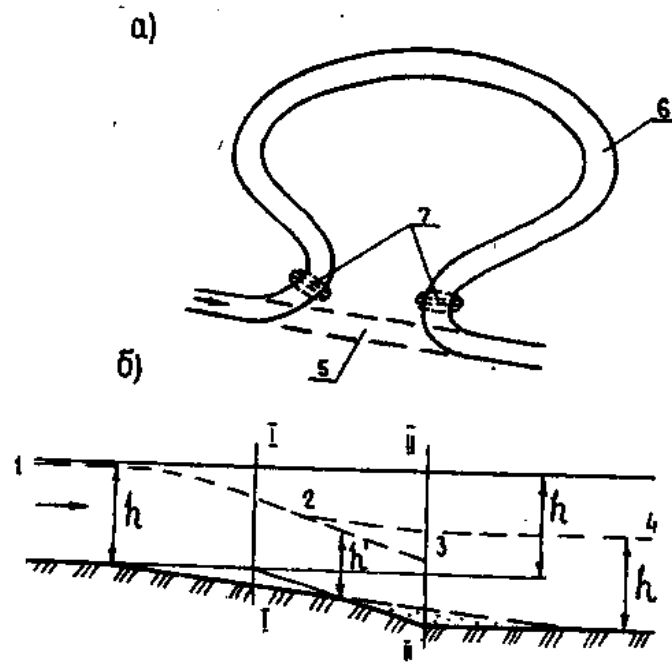
Рисунок 1.5.5 – Типи і конструкції наскрізних споруд

Загорожні (щитові) споруди (рис. 1.5.5 д) виконують із жердин або

залізобетонних балок і застосовують на річках з великими швидкостями та гальковим дном.

Наскрізні півзагати (рис. 1.5.5 е) виконують із масивних бетонних блоків, на нижніх блоках розміщують трампліни із залізобетонних плит. Потік розщеплюється такими спорудами і відхиляється за допомогою „трамплінів” поверхневих струмин. При цьому знижується дія потоку на дно русла і зменшується його розмив.

Спрявлення річкових звивин. При крутих поворотах русла ускладнюється рух суден і плотів. В таких випадках застосовується „пом'якшування” крутих звивин або їх спрявлення шляхом влаштування прокопів. В прокопі ухил дна більший в порівнянні з руслом, глибина води в ньому зменшується:  $h' < h$  (рис.1.5.6).



- а – план звивини; б – поздовжній профіль по спрявленню;  
1 - 2 – крива спаду; 2 - 3 – вільна поверхня на ділянці прокопу;  
2 - 4 – крива підпору; 5 – прокоп; 6 – старе русло.

Рисунок 1.5.6 – Спряження річкової звивини

При спрявленні русел змінюються гідравлічні умови на прилеглих до звивин ділянках річки.

б. **Повінь** – короткочасне і неперіодичне підняття рівнів води в річках в результаті різкого підвищення їх стоку внаслідок затяжних дощів, злив,

інтенсивного сніготанення. За період повені проходить 36-77% річного стоку річок, перевищення рівнів над літніми меженними рівнями складає для малих річок 1,5...2,0 м, для середніх 2...3 м і для великих до 7 м. На р. Дніпрі максимальне перевищення спостерігалось у 1655 р. – і складало 15 м. До прямих збитків від повеней відносять жертви серед населення і затоплення земель, непрямі збитки пов'язані із наслідками для здоров'я людей, їх добробуту, можливістю зараження і забруднення території.

Заходи, які застосовують для боротьби з повенями можна представити схематично (рис. 1.5.7).

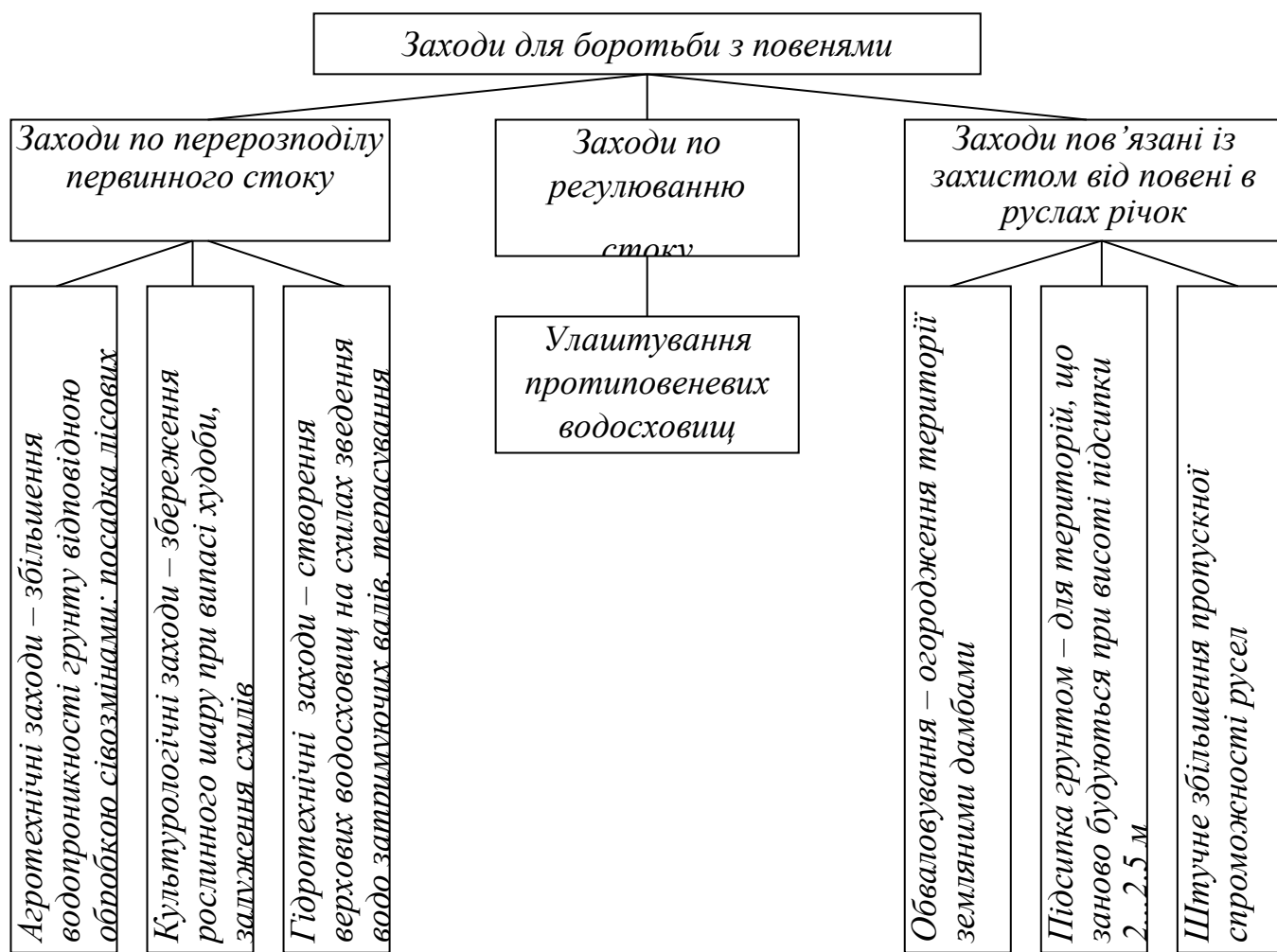


Рисунок 1.5.7 – Заходи для боротьби з повенями

**Селеві потоки** – це грязекам'яні потоки, що насичені великою

кількістю твердого і рослинного матеріалу: піском, галькою, гравієм, камінням. Вони утворюються при інтенсивному поверхневому стоці при потужних зливах, тривалих обложних дощах в гірських та передгірських районах. В Україні до початку 60-х років селеві потоки майже не вивчалися. Селеві потоки в Карпатах та Криму спостерігаються майже щорічно, швидкість їх руху досягає 5...6 м/с, серед відкладень зустрічаються валуни діаметром від 15 см до 1,5 м.

Для боротьби з селевими потоками виконують наступні види робіт:

- 1) регулюють первинний стік на водозабірній площі;
- 2) „пом'якшують” поздовжній ухил русла за допомогою порогів і донних загат та зменшують швидкість течії до нерозмивних;
- 3) попереджують пошкодження каналів і доріг в місцях перетину їх з селевим руслом шляхом влаштування селепроводів;
- 4) обваловують та захищають схили від розмиву, тим самим попереджаючи блукання водотоку на конусі виносу;
- 5) закріплюють окремі тальвеги, на яких зосереджується стік або спостерігається інтенсивний розмив.

На схилах водозабірної площі проводять агролісокультурні та технічні заходи. До агролісокультурних заходів відносяться: охорона рослинного шару схилів від знищення, насадження лісів на схилах. До технічних заходів відносяться терасування схилів з посадкою дерев, укріплення схилів від сповзання.

Регулювальні роботи в руслах проводяться для укріплення русел від розмиву селевим потоком, затримки та акумуляції селевої маси. Для зменшення ухилу та затримки крупних наносів загати розміщують так, щоб поверхня відкладених наносів проходила від верху водозливу нижньої загати до низу фундаментів наступної верхньої загати (рис. 1.5.7).

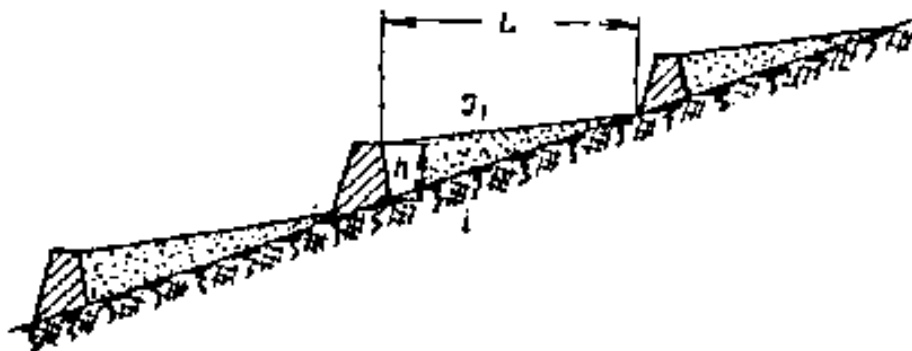


Рисунок 1.5.7 – Схема розташування загат на ділянці регулювання



## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. За якими ознаками класифікують регулювальні споруди?
2. Які конструктивні елементи регулювальних споруд найбільш поширені?
3. З якою метою влаштовують струмененапрямні та огорожувальні дамби?
4. Які види поперечних споруд вам відомі?
5. Назвіть основні типи наскрізних регулювальних споруд.
6. Які заходи застосовуються для боротьби з повенями.
7. Які види робіт застосовують для боротьби з селевими потоками?



## Лекція 15. Судноплавні лісо- і рибопропускні споруди

**Мета лекції:** ознайомлення з видами водних шляхів, усвідомлення особливостей роботи судноплавних каналів та судноплавних шлюзів, засвоєння конструктивних особливостей лісопропускних споруди, розуміння принципів роботи рибопропускних та рибозахисних споруд.

### План

1. Класифікація водних шляхів.
2. Судноплавні канали та судноплавні шлюзи.
3. Суднопідйомники.
4. Суднопідйомники.
5. Лісопропускні споруди.
6. Рибопропускні та рибозахисні споруди.

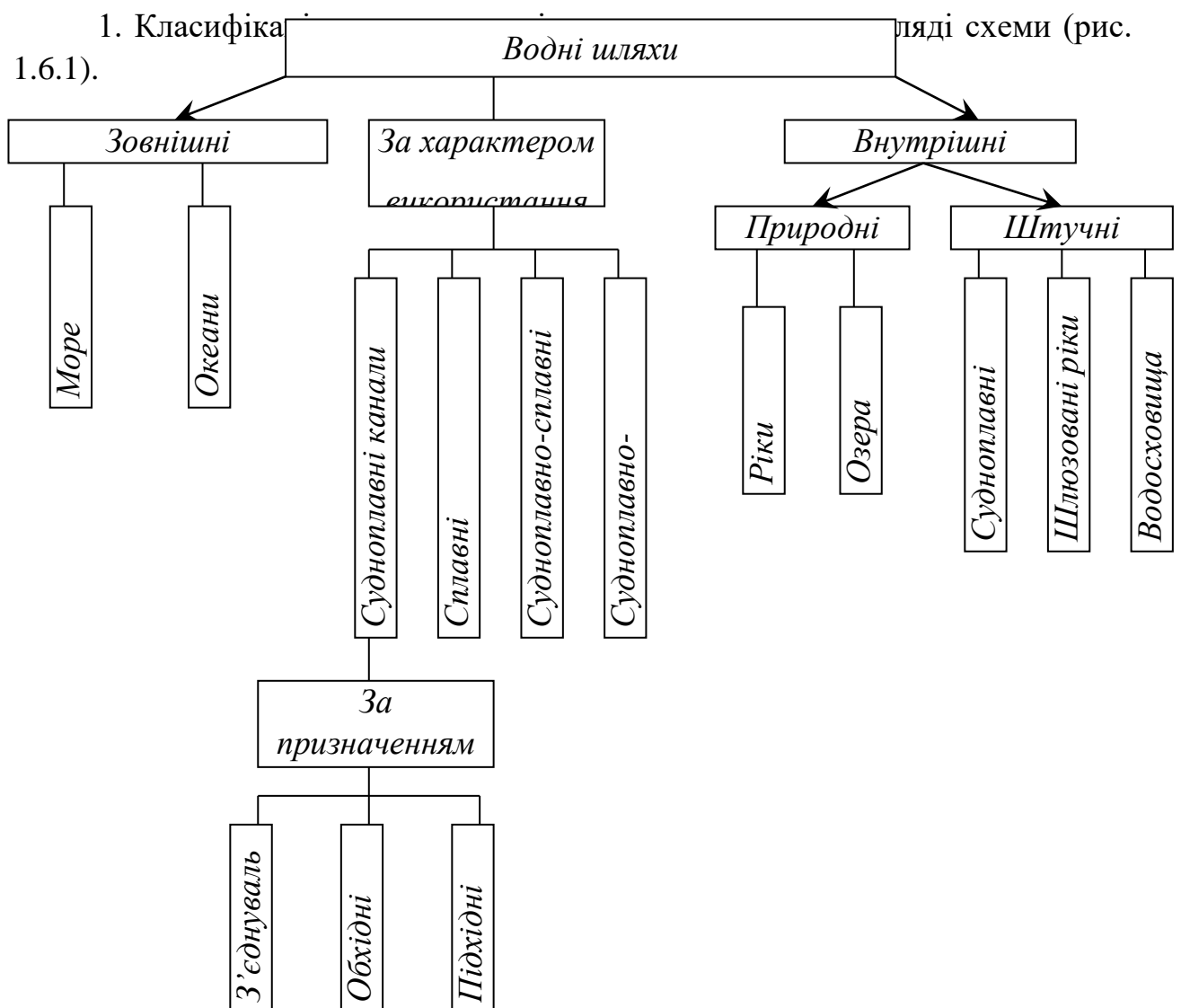


Рисунок 1.6.1 – Класифікація водних шляхів

З'єднувальні канали влаштовуються для створення транзитного водного шляху.

Обхідні канали влаштовують для подолання перешкод.

Підхідні канали влаштовують тупиковими, їм відведена роль під'їзних шляхів.

2. Судноплавні канали влаштовують, як правило, для двостороннього руху, будівництво каналів з одностороннім рухом допускається лише при достатньому обґрунтуванні.

Ширина каналу на рівні осадки завантажених суден (рис.1.6.2) повинна бути:

$$b_{oc} \geq 2 b_s + 3 \Delta b , \quad (1.6.1)$$

де  $b_s$  – ширина найбільшого судна;

$\Delta b$  – відстань між зустрічними суднами.

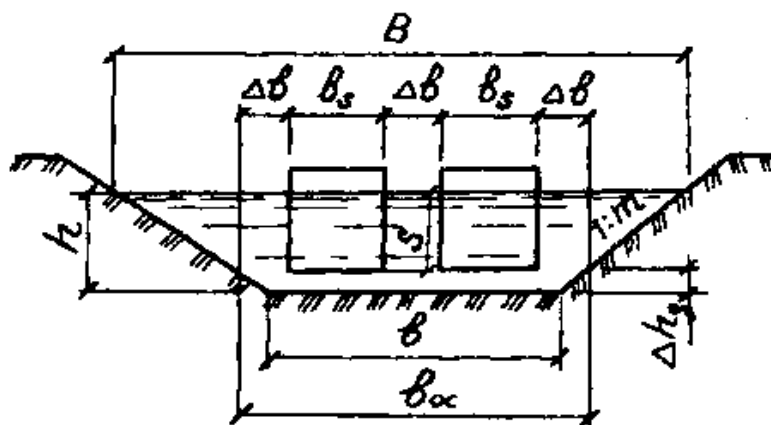


Рисунок 1.6.2 – Схема розташування двох зустрічних суден в судноплавному каналі

Глибина води в каналах при найнижчому судноплавному рівні:

$$h = S + \Delta h_3 , \quad (1.6.2)$$

де  $S$  – величина осадки судна по ходу з урахуванням різниці осадки носа або корми (диферента);

$\Delta h_3$  – величина запасу під днищем судна (0,15...0,35 м).

В проектуванні поперечного перерізу каналів враховується профільний коефіцієнт  $h_{пр}$ :

$$h_{пр} = S / \Theta , \quad (1.6.3)$$

де  $S$  – площа живого перерізу каналу, при найнижчому судноплавному рівні;

$\Theta$  – площа підводної частини перерізу.

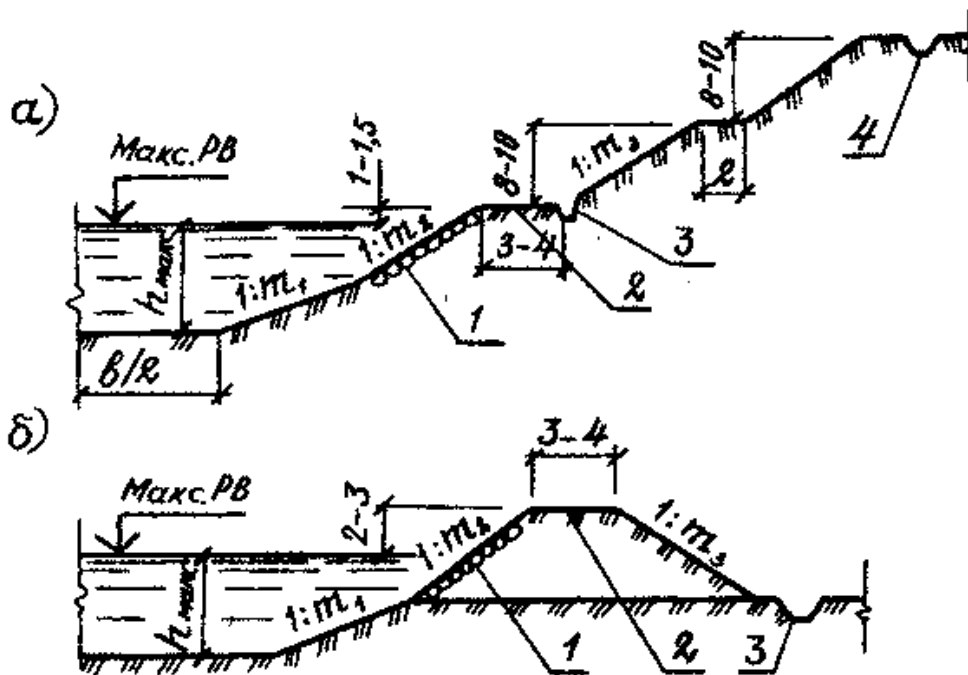
Значення  $h_{пр}$  приймається [11]:

–  $h_{пр} = 4$  для каналів на водних шляхах I категорії;

–  $h_{пр} = 3,5$  – II категорії;

–  $h_{пр} = 3$  – III категорії.

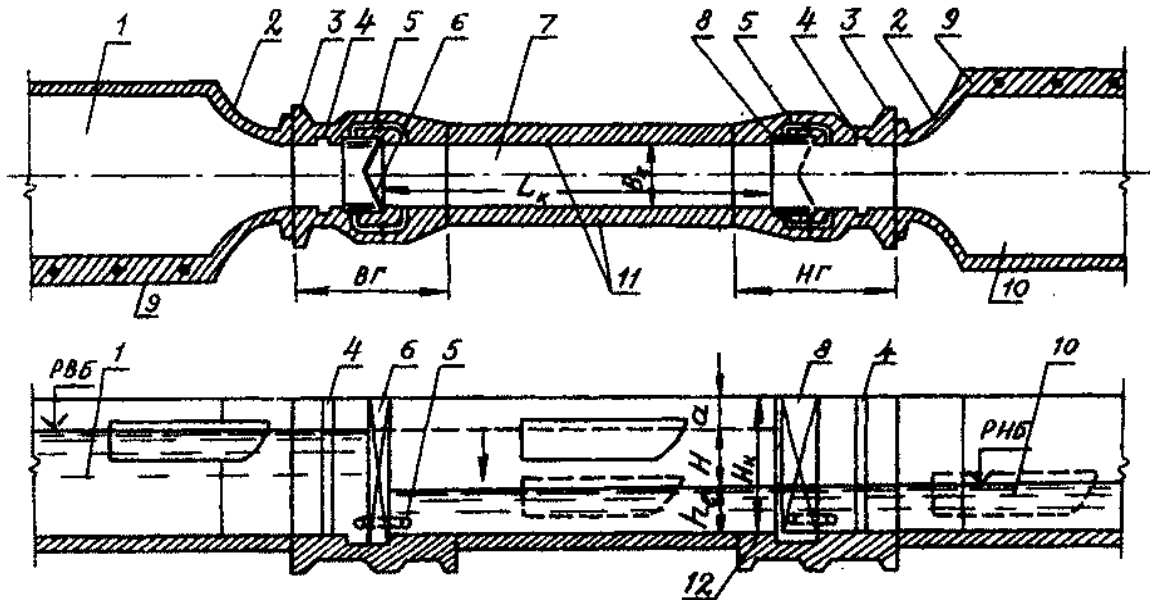
Для огляду і ремонту каналів на обох бровках влаштовують берми-дороги шириною 3...4 м (рис. 1.6.3), перевищення води приймається 1,0...1,5 м – для каналів, що проходять у виїмці; 2...3 м – для каналів у насипу.



а – у виїмці; б – в насипу; 1 – кріплення; 2 – берма; 3 – кювет;  
4 – нагірна канава.

Рисунок 1.6.3 – Типові поперечні перерізи судноплавних каналів

**Судноплавні шлюзи** – це гідротехнічні споруди, які служать для переміщення плаваючих засобів (суден, плотів, барж, тощо) з одного б'єфа в інший в місцях різкої зміни рівнів. Схема шлюзу представлена на рис. 1.6.4.



1, 10 – верхній та нижній підхідний канал; 2 – направляючі пали; 3 – зворотні стінки; 4 – пази для мандар; 5 – водопровідні галереї із затворами; 6 – верхні ворота; 7 – камера шлюзу; 8 – нижні ворота (відкриті); 9 – причальна стінка; 11 – стінка камери; 12 – дно камери; ВГ – верхня голова; НГ – нижня голова;  $L_k$  – довжина камери;  $V_k$  – ширина камери;  $H_k$  – висота камери;  $H$  – напір на шлюз;  $h_{г}$  – глибина на порозі шлюзу;  $a$  – запас висоти стінок.

Рисунок 1.6.4 – Схема однокамерного шлюзу

Послідовність шлюзування (пропуск плаваючого складу через судноплавний шлюз):

- 1) відкриваються затвори водопровідної галереї верхньої голови при закритих верхніх та нижніх воротах, камера наповнюється до рівня верхнього б'єфа, відкриваються верхні ворота і судно вводиться в камеру, верхні ворота закриваються;

- 2) відкриваються затвори галереї нижньої голови, камера спорожнюється і судно опускається до рівня нижнього б'єфа, відкриваються нижні ворота і судно виводиться з камери для подальшого плавання.

Аналогічно проводиться шлюзування з нижнього у верхній б'єф.

Корисна довжина камери [11]:

$$L_e = \sum_1^n l_s + \sum_1^{n+1} \Delta l, \quad (1.6.4)$$

де  $\sum_1^n l_s$  – сума довжини суден, що шлюзуються одночасно;

$n$  – кількість суден, що одночасно шлюзуються;

$\Delta l$  – запас по довжині камери:

$$\Delta l = 2 + 0,03 l_s \quad (1.6.5)$$

Корисна ширина камери:

$$B_e = \sum_1^{h_1} b_s + \sum_1^{h_1+1} \Delta b_s, \quad (1.6.6)$$

де  $\sum_1^{h_1} b_s$  – сума ширини суден, що одночасно шлюзуються;

$\Delta b_s$  - запас по ширині в кожному сторону і між рядами суден, що стоять поруч (0,2...1,0 м);

$n_1$  - число рядів суден, що одночасно шлюзуються.

Глибина води на порозі шлюзу  $h_1$

$$h_1 \geq 1,3 S, \quad (1.6.7)$$

де  $S$  – статична осадка навантаженого судна.

Повна висота стін камери

$$H_k = h_1 + H + a, \quad (1.6.8)$$

де  $H$  – напір (різниця б'єфів);

а – перевищення верха над рівнем верхнього б'єфа (запас), 0,5...1,0 м.

Зливна призма – це об'єм води, який містить камера:

$$V = S H , \quad (1.6.9)$$

де  $V$  – зливна призма;

$S$  – площа дзеркала води в камері;

$H$  – напір на шлюзі.

Розрахункова добова потреба у воді на шлюзування для однокамерного шлюзу [12]

$$\sum V_{\text{доб}} = 0,75 n_{\text{max}} \cdot V_{\text{max}} , \quad (1.6.10)$$

для багатокамерного шлюзу

$$\sum V_{\text{доб}} = n_{\text{max}} \cdot V_{\text{max}} , \quad (1.6.11)$$

де  $n_{\text{max}}$  – максимальна кількість шлюзувань за добу;

$V_{\text{max}}$  – максимальний об'єм води в камері.

Середня втрата на шлюзі:

$$Q_i = \frac{\sum V_{\text{вт}}}{86400} + Q_{\text{вт}} , \quad (1.6.12)$$

де  $Q_{\text{вт}}$  – втрата води крізь ущільнення:

$$Q_{\text{вт}} = q_{\text{вт}} \cdot \sum l_{\text{ущ}} , \quad (1.6.13)$$

де  $q_{\text{вт}}$  – питома втрата води, що дорівнює 0,0015...0,0020 м<sup>2</sup>/с, якщо  $H$  до 10м і 0,0025...0,0030 м<sup>2</sup>/с – при  $H > 10$ м.

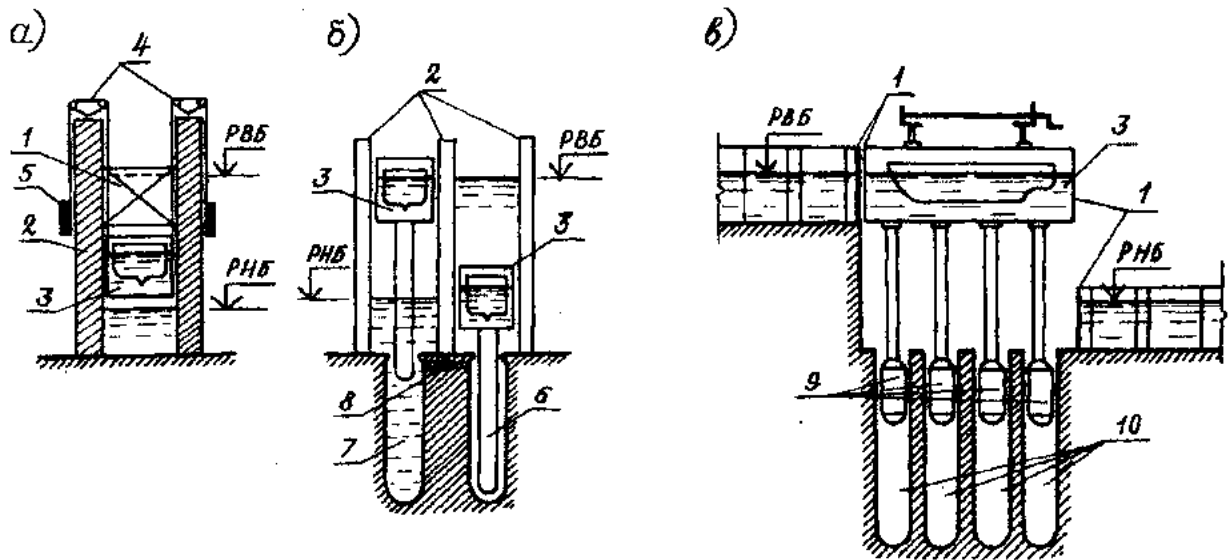
$\sum l_{\text{ущ}}$  - повна довжина ущільнень по периметру воріт і затворів голови шлюзу.

**3. Суднопідйомники** – це суднопропускні споруди, в яких подолання перепадів рівнів між б'єфами здійснюється шляхом перевезення суден на плаву в камері, наповненій водою, або насухо в спеціальних візках.

Вертикальні суднопідйомники в залежності від способу врівноваження



камер поділяють на 3 види: механічні, гідравлічні та поплавкові (рис. 1.6.5).



- а) механічний однокамерний; б) гідравлічний двокамерний;  
в) однокамерний з поплавками.

1 – ворота; 2 – опорні направляючі стіни; 3 – камера; 4 – блоки;  
5 – противаги; 6 – плунжери гідравлічного пресу; 7 – циліндр;  
8 – затвор; 9 – поплавки; 10 – шахти для поплавків.

Рисунок 1.6.5 – Вертикальні суднопідйомники

Механічні суднопідйомники мають приймальну камеру, які відокремлена воротами від нижнього б'єфа, та рухома камеру, врівноважену противагами.

В гідравлічних суднопідйомниках кінцеве положення камер таке, що рівень води у верхній камері трохи нижчий за рівень верхнього б'єфа, в нижній – вищий за рівень нижнього б'єфа. Коли відкривають ворота, у верхню камеру вливається певний об'єм води, з нижньої камери такий же об'єм витікає в нижній б'єф. Після закриття воріт нижня камера виявляється легшою за верхню. Якщо затвор відкривається, верхня камера опускається, виштовхуючи воду з циліндра, в другому циліндрі тиск збільшується і поршень з камерою меншої ваги піднімається.

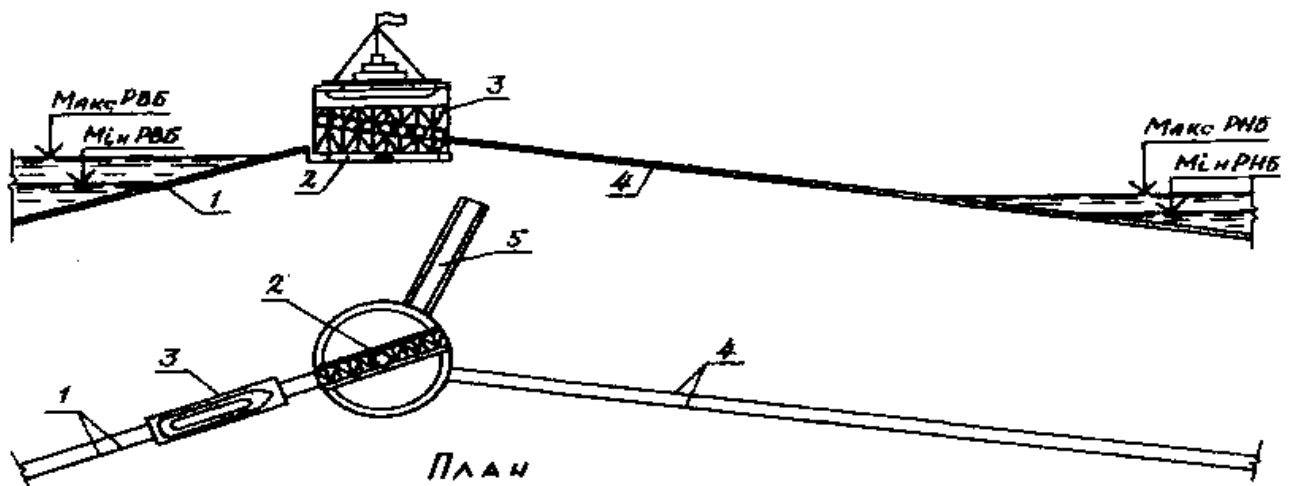
Гідравлічні суднопідйомники не отримали широкого розповсюдження, тому що мають конструктивні та експлуатаційні недоліки.

В поплавкових суднопідйомниках поплавки завжди занурені у воду, їх

підйомна сила дорівнює вазі всіх рухомих частин, коли камера у верхньому б'єфі. Ця рівновага порушується при опусканні металокопструкцій в шахту. В середині поплавків розміщені труби, наповнені повітрям і відкриті знизу. Коли поплавки опускаються в шахти, гідростатичний тиск в них зростає, повітря стискується, зважаючи сила поплавків зменшується на ту ж величину, на яку і зростає внаслідок занурення у воду металокопструкцій каркаса. Головним недоліком поплавкових суднопідйомників є спорудження глибоких шахт значного діаметра.

У вертикальних суднопідйомниках висота підйому камер сягає 36 м, вантажність суден 1000 т, час пропуску судна 20...30 хвилин.

Укісні суднопідйомники влаштовують за різними схемами. Схема поздовжнього двоскатного суднопідйомника представлена на рис. 1.6.6.



- 1, 4 – верхня та нижня суднозна дорога; 2 – поворотний пристрій;  
3 – суднозна камера; 5 – тупиковий роз'їзд.

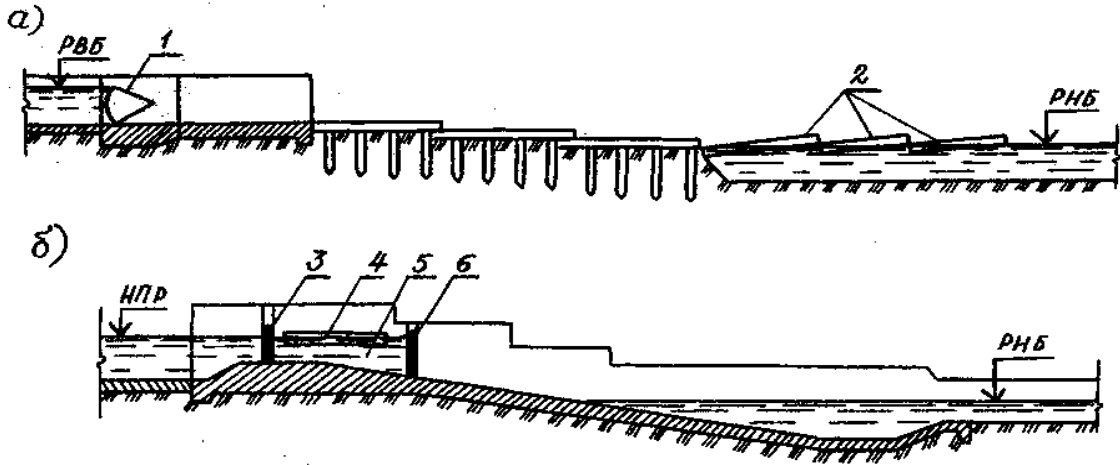
Рисунок 1.6.6 – Схема двоскатного суднопідйомника

4. Лісопропускні споруди призначені для пропуску деревини з верхнього б'єфа в нижній. Застосовують різні типи таких споруд в залежності від технології сплаву деревини, її об'єму, коливань рівнів верхнього б'єфа, забезпеченості глибин в нижньому б'єфі: плотоходи, колодоспуски, механічні плототяги, шлюзи-плотоходи, механічне перевалювання деревини через гідровузол.

Плотоходи влаштовують для пропуску через гідровузли плотового сплаву. Плотоходи поділяються на два основні типи з широкими лотокми по типу колодоспусків із шлюзовою камерою і лотокми.

Плотоходи у вигляді широкого лісоплавного лотка мають ширину 5-20 м, уклін лотка  $0,01 \div 0,02$ , швидкість течії 2-4 м/с. Глибина води становить від 0,5 м для однорядних плотів до 1,2 м – для трирядних.

Схеми плотоходів показані на рис. 1.6.7.



а) з плавучими шарнірними рамами; б) з шлюзовою камерою:

1 – затвор; 2 – плавучі шарнірні рами; 3 – головні ворота; 4 – пліт;

5 – шлюзова камера; 6 – шлюзові ворота.

Рисунок 1.6.7 – Схеми плотоходів

Колодоспуски влаштовують для сплаву лісу річкою розсипом. У верхньому б'єфі колодоспуски мають самостійний вхід, обладнаний найпростішим затвором. Уклон лотків без посиленої шорсткості становить 1:10, а з посиленою шорсткістю – 1:5 – 1:4. На колодоспусках прямокутного перерізу посилена шорсткість створюється шляхом розміщення на дні поперечних брусів (рис.1.6.8а), для попередження пошкодження поперечних брусів колодами на них накладають поздовжні бруси (рис. 1.6.8 б).

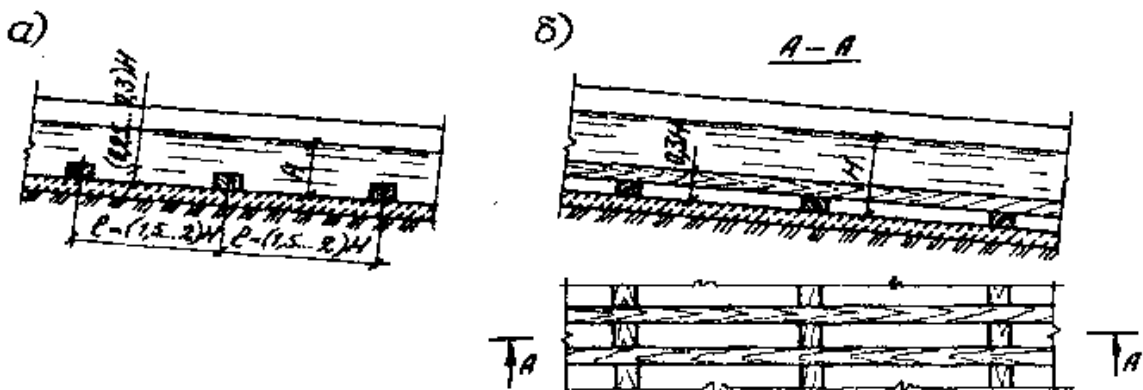
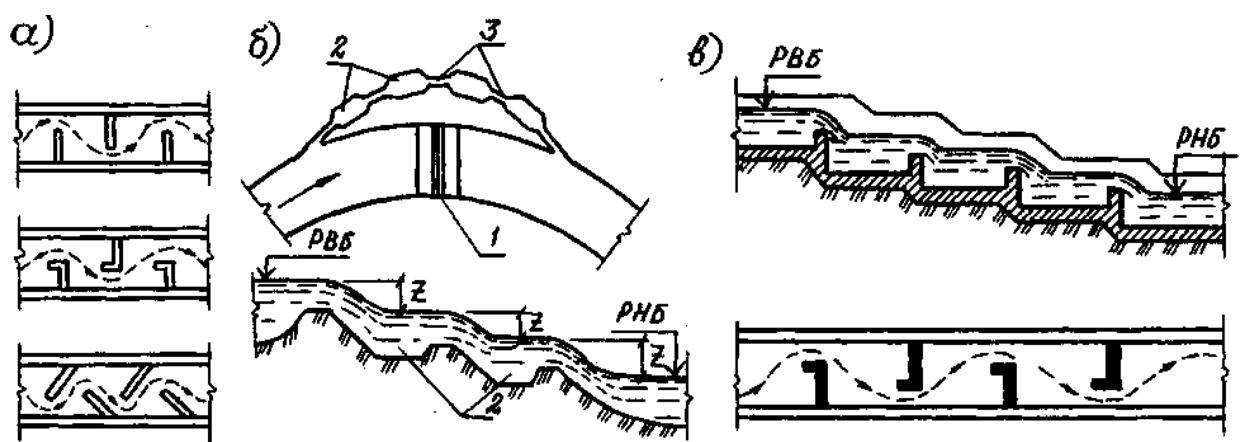


Рисунок 1.6.8 – Посилена шорсткість на колодоспусках прямокутного перерізу

5. До рибопропускних споруд відносяться рибоходи та рибопідйомники.

Рибоходи – це лотоки та канали, в яких швидкість течії не перешкоджає проходу риби проти течії. Швидкість течії води в цих спорудах підтримується в межах менших за ті, які може подолати риба.

Схеми рибоходів представлені на рис. 1.6.9.



а) лотоковий; б) ставковий; в) східчастий: 1 – гребля; 2 – ставки рибоходу;

3 – з'єднувальні канали.

Рисунок 1.6.9 – Схеми рибоходів

Лотокові рибоходи з неповними поперечними перегородками (рис. 1.6.9 а) влаштовують для зменшення швидкості руху води та подовження шляху. Ширина лотока 1,6...3,0 м, відстань між перегородками 1,3...3,5 м, глибина води 0,4...1,5 м, швидкість течії 0,8...2,5 м/с.

Ставкові рибоходи (рис. 1.6.9 б) складаються з ряду ставків, з'єднаних короткими каналами чи лотками. Мають наступні параметри: кількість ставків 7...44; різниця рівнів в ставках 0,4...1,6 м, глибина води в з'єднувальних каналах 0,60...0,75 м, довжина ставків 3...5 м, глибина 1,5...1,7 м.

Східчасті рибоходи (рис. 1.6.9 в) – це східчасті лотоки з поперечними перегородками, що утворюють послідовний ряд басейнів. Для проходу риби

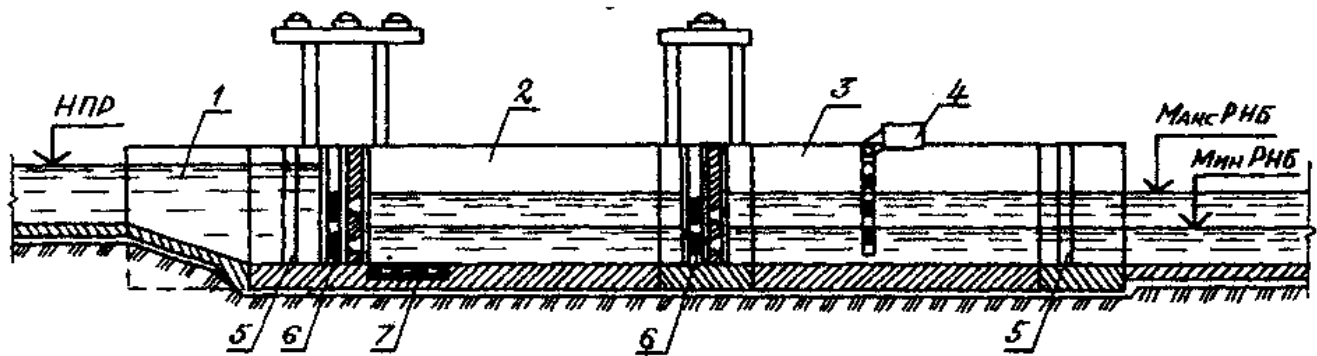
в перегородках влаштовують виливні отвори. Такі рибоходи отримали широке розповсюдження. Відстань між перегородками 2...2,5 м, глибина води 1,2...1,75 м, ширина басейнів 3...5 м на великих річках та 1,2...1,5 м на малих річках.

В рибопідійомниках подолання напору не пов'язано із затратами особистої енергії риб-мігрантів.

За принципом дії рибопідійомники поділяють на гідравлічні та механічні.

Гідравлічні рибопідійомники влаштовують з вертикальною шахтою, з горизонтальною камерою та з нахиленою камерою.

На рис. 1.6.10 показана схема влаштування рибопідійомника з горизонтальною камерою (рибопропускний шлюз).

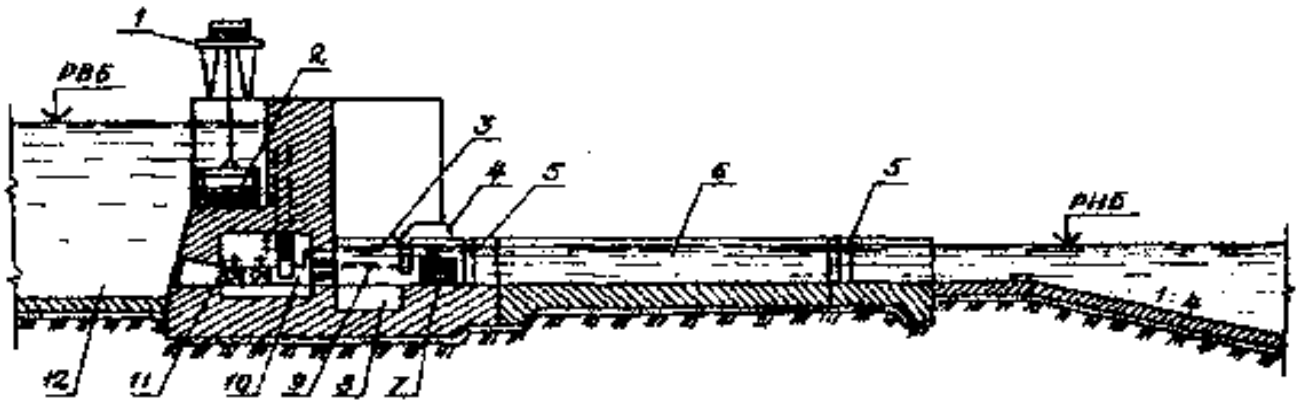


1 – верхній лотік; 2 – робоча камера; 3 – рибонакопичувач; 4 – спонукаючий пристрій;

5 – паз для ремонтного загородження; 6 – робочий затвор; 7 – іхтіологічний майданчик.

Рисунок 1.6.10 – Схема рибопропускного шлюзу

Механічні рибопідійомники (рис. 1.6.11) мають суттєві переваги у порівнянні з гідравлічними: спрощена конструкція блоку живлення, відсутність шлюзової камери.



1 – кран; 2, 3 – обхідні галереї; 4 – спонукаючі пристрої; 5 – паз ремонтного загородження; 6 – рибонакопичувач; 7 – рибозахисна решітка; 8 – ніша для контейнера; 9 – робоча камера; 10 – блок живлення; 11 – приміщення для механізмів; 12 – верховий лотік.

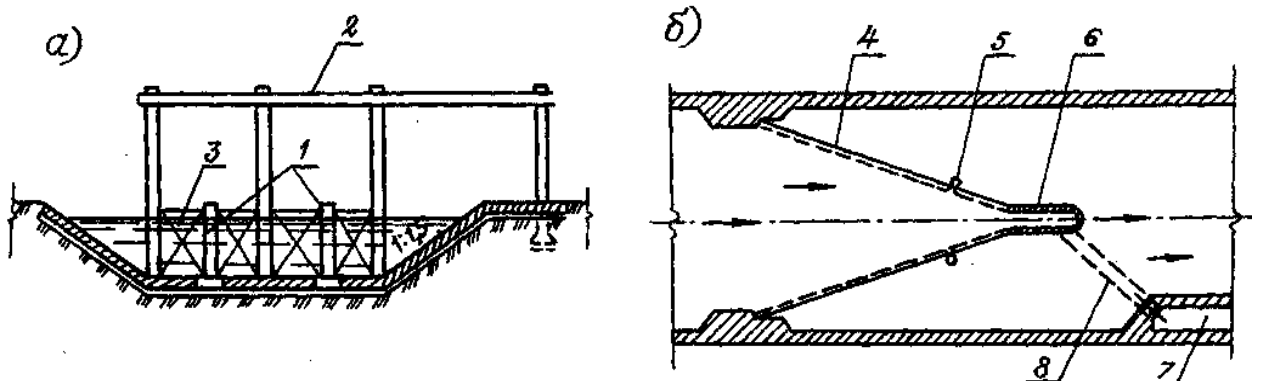
Рисунок 1.6.11 – Механічний рибопідйомник

Стік річок використовують при виробленні електроенергії, для зрошення земель, водопостачання міст. При цьому в системи потрапляє велика кількість риби, що призводить до її загибелі. Тому виникає потреба в рибозахисних спорудах.

За принципом дії ці споруди поділяють на механічні, гідравлічні та фізіологічні [13, 14].

Механічні рибозахисні споруди представляють собою механічну перешкоду перед водозабірною спорудою.

До рибозагороджувачів з відводом риби відносять плоскі сітки, сіткові барабани, сіткові конуси, нескінчену рухому стрічку. Рибозагороджувачі без відводу риби – це обертові сітки, плити, кам'яні накиди, дамби, фільтри. Схеми влаштування цих споруд показані на рис. 1.6.12.



- а) касетні фільтри; б) плоска сітка: 1 – естакада; 2 – монорейка;  
3 – сіткові касети; 4 – сітка; 5 – флейта; 6 – рибонакопичувач;  
7 – скидний лотік; 8 – рибовідвід.

### Рисунок 1.6.12 – Механічні рибозахисні споруди

Гідравлічні рибозахисні споруди – це пристрої, що створюють перед водозаборами такі гідравлічні умови, які перешкоджають попаданню риби у споруди та направляють її до рибоводу. Це відбійні козирки, запані, зонтичні та жалюзі рибозагороджувачі [13, 14].

Фізіологічні рибозахисні споруди ґрунтуються на використанні поведінкової реакції риби на різні подразники (тобто відлякування). Ці звукові, світлові, електричні рибозагороджувачі.

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Як класифікують водні шляхи?
2. Як розраховується профільний коефіцієнт при проектуванні судноплавних каналів?
3. З якою метою влаштовуються судноплавні шлюзи?
4. Яка послідовність пропуску плаваючого складу через судноплавний шлюз?
5. Які види суднопідійомників вам відомі?
6. Для яких цілей влаштовуються лісопропускні споруди?
7. Які схеми влаштування рибоходів вам відомі?
8. Назвіть переваги та недолік гідравлічних і механічних рибопідійомників.
9. Охарактеризуйте основні типи рибозахисних споруд.

## Лекція 16. Відстійники. Експлуатація та ремонт ГТС

**Мета лекції:** ознайомлення з видами відстійників, усвідомлення особливостей роботи відстійників з періодичним та безперервним промивом наносів, засвоєння принципів експлуатації гідротехнічних споруд, розуміння порядку проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

### План

1. Призначення та класифікація відстійників.
2. Відстійники з періодичним промивом наносів.
3. Відстійники з безперервним промивом наносів.
4. Експлуатація ГТС.
5. Ремонтно-відновлювальні роботи.

1. Призначення відстійників при використанні водної енергії – збереження гідротурбін дериваційних гідроелектростанцій від стирання наносами крупних фракцій, в зрошувальних системах для запобігання замуленню магістральних і розподільних каналів.

При нормальній експлуатації відстійників повинно бути забезпечено:

- осідання в камерах фракцій наносів;
- регулярне видалення наносів;
- відстоювання і скидання в нижній б'єф шуги;
- надходження води в канал з допустимими швидкостями і в кількості згідно із графіком роботи системи.

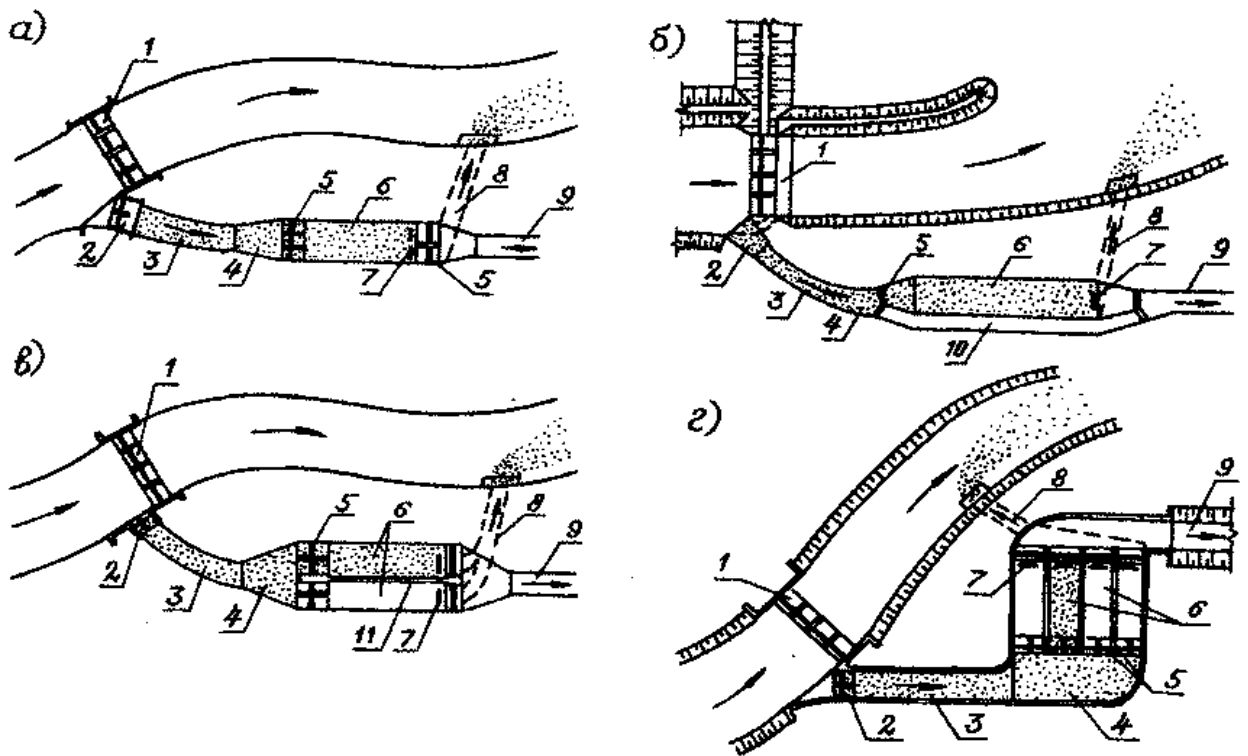
Відстійники поділяють :

- 1) за місцем розташування – на розташовані на трасі каналу та суміщені з водоприймачем;
- 2) в залежності від призначення системи – на відстійники ГЕС, зрошувальних систем і водопостачання;
- 3) за способом видалення наносів – на відстійники з безперервним гідравлічним промивом, періодичним промивом, механічною очисткою і комбіновані;
- 4) за числом камер – однокамерні, двокамерні і багатоканальні.

2. На рис.1.7.1 показані схеми відстійників з періодичним промивом.

Однокамерні відстійники (рис. 1.7.1 а) застосовуються для ГЕС в тих випадках, коли за ними вдається створити резервуар необхідної ємності, який дозволяє регулювати подачу води на ГЕС згідно графіка споживання. Головний регулятор і підвідний канал такого відстійника в період промиву розраховуються на пропуск найбільшої робочої витрати –  $Q_{роб}$ .





а – однокамерний; б – однокамерний з обвідним каналом; в – двокамерний;  
 г – багатокамерний: 1 – гребля; 2 – головна споруда; 3 – підвідний канал;  
 4 – аванкамера; 5 – затвори; 6 – камера; 7 – затвора промивної галереї;  
 8 – промивний колектор; 9 – магістральний канал; 10 – обвідний канал;  
 11 – роздільна стінка.

Рисунок 1.7.1 – Схеми відстійників

Однокамерний відстійник з обвідним каналом (рис. 1.7.1 б) під час промиву або ремонту камери пропускає неосвітлену воду по промивному каналу. Головний регулятор і підвідний канал розраховуються на суму промивної  $Q_{\text{пр}}$  і найбільшої робочої витрати  $Q_{\text{роб}}$ , тобто:

$$Q_{\text{під}} = Q_{\text{пр}} + Q_{\text{роб}} , \quad (1.7.1)$$

де  $Q_{\text{під}}$  – витрата, що проходить по підвідному каналу.

Однокамерні відстійники застосовують при витратах до  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Двокамерний відстійник (рис. 1.7.1 в) дозволяє безперервно подавати освітлену воду в систему.

Такий відстійник можна розрахувати за двома варіантами:

- 1) кожна камера розраховується на пропуск повної розрахункової витрати по магістральному каналу;
- 2) кожна камера розраховується на пропуск половинної витрати.

При другому варіанті розрахунку для зменшення надходження наносів

промив рекомендується проводити під час подачі пониженої витрати, тобто

$$Q_{\text{під}} = Q_{\text{пр}} + Q_{\text{роб}} \approx (1,5 \div 2,0) Q_{\text{роб}} . \quad (1.7.2)$$

Багатокамерний відстійник (рис. 7.1 г) застосовується при великих витратах, коли збільшення розмірів одно- або двокамерного відстійника викликає значне збільшення тривалості і промиву та супроводжується підвищенням надходження наносів. Кожна камера розраховується на пропуск витрати:

$$Q_{\text{кам}} = Q_{\text{роб}} / N , \quad (1.7.3)$$

де  $N$  – число камер.

Камери промивають по черзі, при промивці однієї інші працюють з перевантаженням в  $N/(N-1)$  разів.

Згідно ТУ і НП [15] середня швидкість руху води  $V$  призначається  $0,2 \dots 0,4$  м/с при осіданні часточок  $0,2 \dots 0,4$  мм.

Глибина  $H$  приймається  $3 \dots 6$  м. Робоча ширина камери:

$$B_{\text{к}} = Q_{\text{к}} / H N , \quad (1.7.4)$$

де  $Q_{\text{к}}$  – розрахункова витрата води в камері.

Робоча довжина камери :

$$L_{\text{р}} = I_{\text{від}} \cdot K , \quad (1.7.5)$$

де  $I_{\text{від}}$  – довжина відльоту розрахункової фракції наносів.

$K$  – коефіцієнт резервного об'єму,  $K=1,2 \div 1,5$ .

Дальність відльоту розраховується як

$$I_{\text{відл}} = H V / \omega_{\text{р}} , \quad (1.7.6)$$

де  $\omega_{\text{р}}$  – гідравлічна крупність розрахункової фракції.

Найбільш економічною прийнятною швидкістю при промиві є така швидкість, яка забезпечує транспортуючу спроможність потоку у  $80 \dots 140$  кг/м<sup>3</sup>,  $V_{\text{пр}}=2 \dots 2,5$  м/с.

Уклон дна відстійника:

$$i = V_{\text{пр}}^2 / C^2 R , \quad (1.7.7)$$

де  $C$  – коефіцієнт Шезі;

$R$  - гідравлічний радіус.

Величину промивної швидкості для відстійників ГЕС, в яких затримують крупні і середні завислі наноси, рекомендується визначати за емпіричною залежністю:

$$V_{\text{пр}} = \omega (h_p / d)^{0,5} \cdot p^{0,25}, \quad (1.7.8)$$

де  $d$  – діаметр частинок наносів;

$\omega$  - гідравлічна крупність наносів;

$h_p$  - середня глибина води;

$p$  - вміст у промивному потоці наносів у відсотках (2-8%, що відповідає витраті від 75 до 20 м<sup>3</sup> на видалення 1 м<sup>3</sup> наносів).

Тривалість промиву

$$t_{\text{пр}} = 100 \cdot \rho_n \cdot W_n / \rho \cdot q_{\text{пр}} \cdot B_k, \quad (1.7.9)$$

де  $W_n$  – об'єм наносів, що відклалися в камері, м<sup>3</sup>;

$\rho_n$  - густина наносів, кг/м<sup>3</sup>;

$B_k$  - ширина камери, м.

Товщина шару наносних відкладень для кожної з груп фракцій наносів, діаметр яких більший за розрахунковий, визначається за залежністю [16]:

$$\delta = \frac{\mu \cdot Q_{\hat{e}} \cdot \Delta \hat{O} \cdot 60 \cdot 60}{1000 \cdot \hat{A}_{\hat{e}} \cdot \hat{a}}, \quad \text{і} \quad (1.7.10)$$

де  $\mu$  – об'ємна мутність, л/м<sup>3</sup>;

$\Delta T$  – інтервал часу, з плином якого вважається, що глибина води у відстійнику не змінюється,  $\Delta T=2...4$  год.

Шар наносів, діаметр яких менший за розрахунковий, можна визначити за залежністю [16]:

$$\delta_1 = \frac{\mu \cdot Q_{\hat{e}} \cdot \Delta \hat{O} \cdot 60 \cdot 60 \cdot h_1}{1000 \cdot \hat{A}_{\hat{e}} \cdot L_p \cdot H_1}, \quad (1.7.11)$$

де  $h_1$  – глибина на початку відстійника, з якої ще можливе осідання наносів, м;

$H_1$  – глибина води на початку відстійника, м.

Довжина відльоту кожної з груп фракцій [16]:

$$l = \frac{q}{\omega - \frac{H_2 - H_1}{2 \cdot L_p \cdot H_1} \cdot q}, \quad (1.7.12)$$

де  $q$  – питома витрата води для камери;

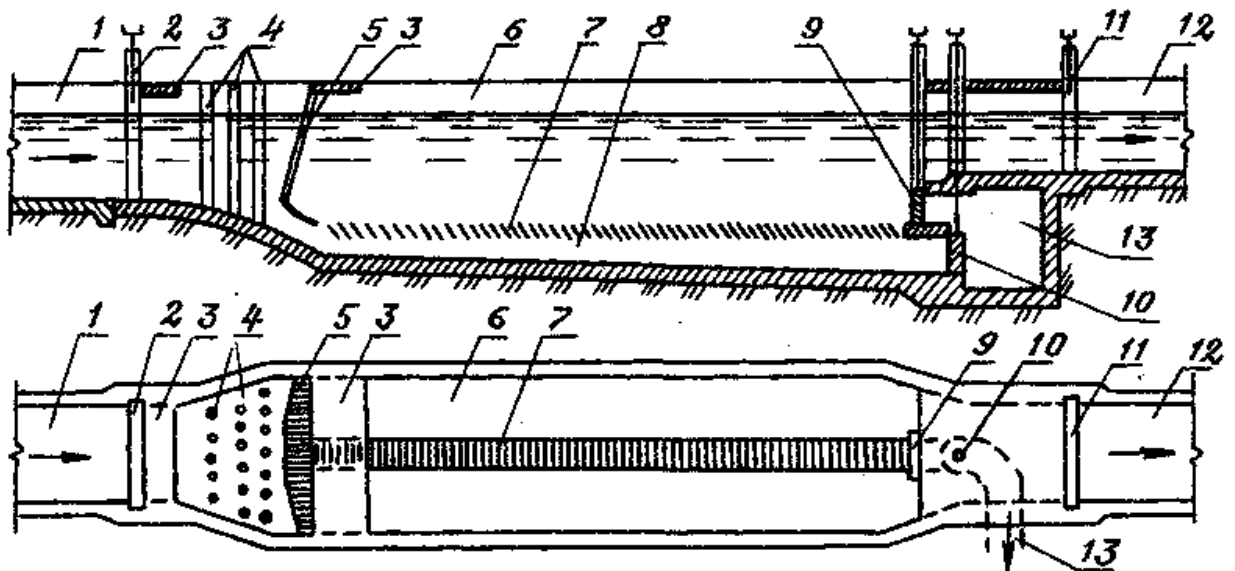
$\omega$  - гідравлічна крупність даної фракції наносів.

3. Можна виділити декілька особливостей відстійників з безперервним промивом:

- 1) камери відстійників влаштовують без резервного об'єму для акумуляції наносів;
- 2) в період надходження малої кількості наносів ці споруди можна використати як відстійники з періодичним промивом;
- 3) рівні води в камерах залишаються постійними, промив відбувається в умовах напірного потоку, в зв'язку з цим потрібна значно менша різниця рівнів верхнього та нижнього б'єфів;
- 4) швидкість падіння часточок в камерах значно більша гідравлічної крупності, тому робоча довжина відстійника значно скорочується.

Розглянемо декілька конструкцій таких відстійників.

На рис. 1.7.2 приведена схема відстійника системи Дюфура.



- 1 – підвідний канал; 2 – верховий затвор; 3 – службовий місток; 4 – решітка для вирівнювання швидкостей; 5 – решітка для затримки сміття; 6 – камера відстійника; 7 – решітка донного лотка; 8 – донний лотік; 9 – затвор камери; 10 – затвор донного лотка; 11 – вихідний затвор; 12 – магістральний канал; 13 – збірна галерея.

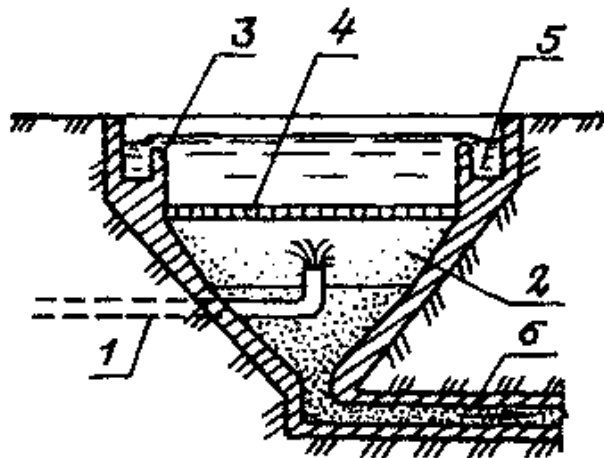
Рисунок 1.7.2 – Відстійник системи Дюфура

В поздовжній донний лотік спрямовується придонна частина потоку з більш крупними фракціями наносів. У відстійну камеру направляється верхня основна частина потоку з більш дрібними фракціями наносів. Горизонтальна решітка зі спицями розділяє камеру відстійника і донний збірнопромивний лотік. Нижній донний отвір служить для промиву наносів, які надходять через отвори решітки, верхній – для періодичної очистки решітки.

У відстійнику з ребристим дном і поздовжніми пульпопроводами системи проф. Є.О. Замаріна [16] наноси, що випадають, направляються схилами ребристого дна вниз і надходять в пульпопроводи.

Круглі в плані відстійники представляють собою споруди з вертикальними або нахиленими бортовими стінками, бувають двох типів:

А) При малих витратах і достатній для промиву різниці рівнів застосовують конічні відстійники діаметром до 10 м і глибиною до 4,5 м (рис.1.7.3).



1 – підвідна труба; 2 – камера; 3 – кільцевий водозлив; 4 – груба решітка;  
5 – збірний лотік; 6 – промивний пульпопровід.

Рисунок 1.7.3 – Конічний відстійник

Б) При великих витратах і недостатній різниці рівнів води в б'єфах бувають відстійники меншої глибини: їх діаметр до 100 м, глибина біля борту 2,0...2,5 м. Уклон дна відстійника складає 0,05...0,15. Для покращення скочування наносів влаштовують легкі ферми з похилими скребками, які

повільно обертаються.

Вихідними величинами для розрахунку відстійників з безперервним промивом є:

$Q_p$  - робоча витрата;

$\rho_0$  - вагова мутність води;

$p_1, p_2, p_3$  - процентний вміст наносів по фракціям;

$\rho_1, \rho_2, \rho_3$  - вагова мутність по фракціях;

$d_{\min}, v_{\min}$  - діаметр і гідравлічна крупність мінімальної фракції, що осідає;

$Z$  - різниця рівнів води в каналі і в річках.

Основою вихідних даних приймається:

а) глибина камери  $H=3...5$  м;

б) промивна витрата  $Q_{пр}=(0,1\div 0,2) Q_p$ ;

в) середня швидкість течії в камері  $V=0,2\div 0,5$  м/с;

г) ширина донної галереї  $b_r=0,5\div 1,0$  м;

д) висота ребер дна  $h_p=1\div 2$  м і нахил їх до горизонту  $K=45^\circ$ .

Ширина секції камери буде

$$B_{сек} = b_r + 2 h_p \quad (1.7.13)$$

Площа живого перерізу секції буде

$$S_{сек} = H B_{сек} \cdot h_p^2 \quad (1.7.14)$$

Необхідне число секцій визначається за формулою

$$N_{сек} = (Q_p + 0.5Q_{пр}) / V S_{сек} \quad (1.7.15)$$

Загальна ширина відстійника буде

$$B_p = B_{сек} \cdot N_{сек} \quad (1.7.16)$$

Середня глибина відстійника визначається за залежністю

$$H_{сер} = S_{сек} \cdot N_{сек} / B_p = S_{сек} / B_p \quad (1.7.17)$$

Робоча довжина відстійника визначається

$$L_p = L = \frac{H}{\omega_{\min} + H_a} \cdot \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{H}{\omega_{\min} + U_a} \cdot \bar{V}, \quad (7.18)$$

де  $V_1$  і  $V_2$  – середня швидкість руху води на початку і в кінці камери;

$U_B$  – середня вертикальна швидкість.

$$L_p = \bar{V} = \frac{Q_p + (0.4 \div 0.45) \cdot Q_{i\delta}}{S_k} \quad (1.7.19)$$

#### 4. Експлуатація водопропускних споруд та механічного обладнання

Протягом всього терміну експлуатації водопропускних споруд нижній б'єф обстежується не менше одного разу в рік після пропуску повені [17]. При цьому обов'язково виконують зйомку рельєфа ями розмиву. Після замірів глибин визначають абсолютні відмітки, викреслюють горизонталі ями розмиву, за якими роблять висновки про стан місцевих деформацій русла в нижньому б'єфі. Співставляючи отриману в горизонталях картину місцевого розмиву з деформаціями русла в попередні роки, визначають стан ями розмиву: розвиток процесу розмиву, згасання його чи, навпаки, замулення русла. Такі дані дозволяють визначити стан нижнього б'єфа і правильно планувати експлуатаційні заходи для захисту споруди від небезпечних підмивів і руйнування кріплення (закріплення русла, маневрування затворами тощо).

Протягом всього терміну експлуатації водоскидних споруд необхідно порівнювати фактичні рівні води в нижньому б'єфі з проектними. Зниження рівнів води в нижньому б'єфі внаслідок загального зниження дна відповідного русла може спричинити відгін гідравлічного стрибка і руйнування кріплення, тобто виникнення аварійної ситуації.

В експлуатаційних умовах необхідно пропускати витрату через споруду рівномірно по всьому фронту для того, щоб уникнути збійності потоку в нижньому б'єфі, що досягається за допомогою маневрування затворами. Щоб забезпечити рівномірне скидання води по фронту греблі в умовах наростання повені, затвори потрібно відкривати послідовно, рівномірно, сходинчасто, починаючи з середніх прогонів греблі, переміщуючись до берегів. Висоту кожної сходинки, підняття затвора, назначають в залежності від конкретних умов. При спаданні повені затвори закривають у зворотному порядку. Пропуск води через споруду повинен відповідати схемі маневрування затворами, що встановлена на основі лабораторних досліджень.

Умови експлуатації гідротехнічних споруд в значній мірі залежать від номенклатури і стану механічного обладнання, що служить для перекриття водопропускних отворів [18].

В процесі експлуатації металеві частини затворів іржавіють, піддаються корозії, стираються наносами і льодом, змащення у підшипниках вимивається, ущільнення та з'єднання металевих елементів розстроюються в результаті динамічних дій води (вібрації), льоду і плаваючих тіл, частини, які обертаються, засмічуються, що призводить до збільшення підйомних зусиль. Особливо ускладнена робота затворів при обмерзанні опорно-ходових частин і ущільнень. Для забезпечення безперебійної роботи затвори і їх механізми періодично оглядають, своєчасно усувають помічені дефекти, замінюють зношені частини, чистять камери, змащують деталі, які обертаються, не рідше одного разу в два роки, відновлюють фарбування частин, які знаходяться в умовах підвищеної вологості.

### **Експлуатація каналів та споруд на них**

Під час експлуатації каналів особливу увагу звертають на режими їх наповнення і спорожнення [18].

При наповненні каналу потрібно створити такий режим, щоб не виникало його руйнування (розмиви дна, осадки дна, укосів та дамб). На початку експлуатації каналу потрібен посилений режим спостережень за фільтрацією з нього, роботою дренажних систем, а також гідротехнічних споруд на каналі.

При спорожненні каналу, що розрахований на рівномірний рух в звичайних експлуатаційних умовах, також можливий розмив дна і укосів. Не можна допускати різкого зниження рівня води в каналі, що може призвести до руйнування укосів внаслідок утворення гідродинамічного тиску на ґрунт. Недопустимим також є різке збільшення чи зменшення пропускної спроможності регулятора через появу зростаючих чи спадаючих хвиль, які можуть призвести до руйнування дамб обвалування. Оптимальним режимом експлуатації каналу є плавне його наповнення чи спорожнення з режимами, що близькі до рівномірного.

Для спостереження за фільтрацією з каналів і просадками ґрунту в кожному характерному створі влаштовують 3-5 п'єзометрів і встановлюють марки. При виявленні значної фільтрації, особливо в пусковий період, потрібно проводити місцеве ущільнення ґрунту.

При заростанні каналу зменшується його пропускна спроможність, але незначне заростання каналів допустиме, оскільки коренева система



рослинності захищає укоси від руйнування, рослинність очищає воду від нафтопродуктів, бактеріального забруднення, не допускає її цвітіння тощо.

### **Експлуатація регуляційних споруд**

Експлуатація регуляційних споруд полягає у своєчасному проведенні робіт та заходів по підтримці їх в робочому стані і включає: 1) викошування укосів берегів річок і дамб; 2) очистку від сміття, корчів, дерев та інших предметів отворів мостів, труб-переїздів, русел та заплав річок; 3) підготовку регуляційних споруд до пропуску льоду, весняних, літньо-осінніх і зимових повеней; 4) підтримку споруд в робочому стані; 5) ліквідацію дрібних пошкоджень споруд.

Основними ознаками нормальної експлуатації регуляційних споруд є: 1) русла річок та їх заплави вільні від надмірного відкладення наносів та зайвої рослинності, які перешкоджають течії води і створюють підпори; укоси берегів захищені рослинністю або відповідними кріпленнями від розмиву під час повені; 2) всі споруди знаходяться в справному стані (споруди не мають щілин, не деформовані, дамби не пошкоджені землерийними тваринами і закріплені тощо); 3) вздовж русел водотоків є водоохоронна смуга, влаштовані переїзди, містки; 4) відвали ґрунту, що утворилися при очистках та ремонтах, повинні бути розрівняні.

### **5. Ремонт ґрунтових споруд**

В процесі експлуатації ґрунтових водопідпірних споруд виникає необхідність досипання гребеня і тіла греблі до проектних відміток, суглинку на верховий укос з метою його кольматажу, засипки поперечних та поздовжніх тріщин і порожнин, ремонту кріплення укосів, дернування, посіву трав тощо. Ці роботи на низьконапірних греблях переважно виконують протягом календарного року, тому що вони відносяться до поточного ремонту.

Кам'яне кріплення верхового укосу ремонтують як насухо, так і з плавучих засобів. Товщину відсипки приймають не меншою ніж з 2,5-3,0 шарів розрахункового діаметра каменю. Для ремонту верхового укосу використовують асфальтобетон чи армовані асфальтові тюфяки. Деформаційні шви тонких бетонних облицювань ремонтують різними способами в залежності від характеру пошкоджень. Порожнини, що

утворились під бетонними плитами, заповнюються піщано-гравійною сумішшю.

В процесі експлуатації ґрунтових гідротехнічних споруд можуть з'являтися ключі (джерела) біля підшви низового укосу чи в берегових примиканнях, що викликані високими градієнтами напору фільтраційного потоку. Інтенсивне виклинювання в берегах, які складені з м'яких ґрунтів, призводить до виникнення зсувів берегових примикань та заболочення території нижче греблі.

### **Ремонт бетонних гідротехнічних споруд**

Руйнування бетонних гідротехнічних споруд виникає в результаті фізико-хімічної, фізико-механічної корозії, кавітації, місцевих деформацій, стирання наносами і крупногабаритними предметами, ударів тощо. Зазвичай пошкодження являють собою раковини, вибоїни, сколи, тріщини, ерозійні впадини.

Роботи з усунення місцевих пошкоджень поділяють на чотири цикли: підготовку бетонної поверхні до ремонту, приготування бетонної суміші, бетонування та догляд за бетоном.

При неглибоких пошкодженнях поверхні бетону для її відновлення часто застосовують торкретування. Поверхні, які зруйновані кавітацією чи механічною дією наносів, іноді ремонтують за допомогою пластобетону, який є різновидністю спеціального бетону, де замість цементу використовується синтетична смола у вигляді фурфурольно-ацетонового мономера.

Кавітаційні пошкодження бетону частіше ремонтують епоксидними смолами; епоксидно-каучуковими матеріалами, полімербетонами, полімеррозчинами, полімерними клеями тощо.

Усунення фільтрації через шпонки здійснюється шляхом розігрівання в них асфальтового матеріалу електричним струмом. При порушенні деформаційного чи деформаційно-осадочного шва виникає підвищена фільтрація через його ущільнення. А тому шви необхідно своєчасно ремонтувати шляхом ін'єкцій герметизуючих матеріалів в шов чи герметизацією швів оклеюючими матеріалами. В деяких випадках застосовують комбінований спосіб.

При розробці проекту ремонтних робіт звертають особливу увагу на можливість пропуску витрат води в період ремонту через інші водопропускні

споруди (ГЕС, водовипуски, судноплавні шлюзи тощо) або через спеціальні тимчасові споруди у вигляді водоводів, обвідних каналів тощо. Способи і період проведення ремонтних робіт визначаються конкретними умовами і можливостями. Елементи, споруд, які постійно знаходяться під водою, ремонтують такими способами: підводним бетонуванням з плаваючих засобів; втрамбуванням бетону; укладанням бетону за допомогою бадь; відсипкою сортованого каменю чи гірничої маси; укладкою будівельних конструкцій бетону чи каменю під прикриттям перемичок з водовідливом; ін'єкціями; комбінованим способом.

### **Ремонт регуляційних споруд**

В задачу ремонту регуляційних споруд входить ліквідація всіх пошкоджень, що виникають в період експлуатації. Ремонти поділяються на поточний, капітальний і аварійний в залежності від характеру і об'ємів робіт.

Призначенням поточного ремонту є виправлення деформацій схилів, берегів русел, споруд, які викликані природними чинниками, а також порушенням умов експлуатації регуляційних споруд. Поточний і капітальний ремонти проводяться в плановому порядку. Поточний ремонт виконується щорічно для усунення дрібних пошкоджень споруд при їх зношеності до 20% в осінньо-зимово-весняний період із закінченням робіт до початку повені.

Капітальний ремонт виконується періодично, коли дефекти та пошкодження значні і виникає загроза для нормальної роботи споруд із зношеністю 20-50%. Строки і об'єм капітального ремонту залежать від природних особливостей водотоку, виду будівельних матеріалів, конструкції споруд. Для дамб він виконується один раз в 10... 15 років.

Аварійний ремонт включає розчистку русел, відновлення регуляційних та інших споруд, зруйнованих в результаті повені або інших стихійних явищ, порушення правил техніки експлуатації, а також неякісних проектних і будівельних робіт.

### **ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**

1. Які процеси забезпечуються при нормальній експлуатації відстійників?
2. Як класифікують відстійники?
3. Переваги та недоліки однокамерних і багатокамерних відстійників.
4. Які особливості відстійників з безперервним промивом вам відомі?
5. Які конструктивні особливості мають відстійник системи Дюфура та відстійник системи проф. Є.О. Замаріна?

6. Які параметри визначаються під час розрахунку відстійників з безперервним промивом?
7. Які задачі вирішує служба експлуатації ГТС?
  1. Які явища можуть бути зафіксовані при візуальному контролі за роботою ГТС?
  2. Які геодезичні прилади застосовують для інструментальних спостережень за переміщенням конструкції ГТС?

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

### Основна:

1. Благодарная Г. И. Гидротехнические сооружения : конспект лекций. Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2016. 106 с.  
URL : <https://eprints.kname.edu.ua/42811/1/2013%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%2021%D0%9B%20%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8%D0%93%D0%A2%D0%A12015.pdf>
2. Гриб О. М. Гідрометрія і гідрохімія. Навчальна практика : навчальний посібник. Одеса, Одеський державний екологічний університет, 2020. 110 с.  
URL : [http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/7520/1/HrybOM\\_Hydrometrya\\_i\\_hydrohimiya\\_NP\\_2020\\_110.pdf](http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/7520/1/HrybOM_Hydrometrya_i_hydrohimiya_NP_2020_110.pdf)
3. Едельштейн К. К. Гідрологія материків : підручник он-лайн. 2018.  
URL: [https://stud.com.ua/105723/geografiya/gidrologiya\\_materikiv](https://stud.com.ua/105723/geografiya/gidrologiya_materikiv).
4. Інкін О.В. Інженерні споруди : навч. посіб. Дніпро : НТУ «ДП», 2021. 219 с.  
URL: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/158084/CD1318.pdf?sequence=>
5. Косяк Д. С., Холоденко В. С. Гідрометрія : практикум. Навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2018. 254 с.  
URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/11563/1/%D0%93%D0%86%D0%94%D0%A0%D0%9E%D0%9C%D0%95%D0%A2%D0%A0%D0%86%D0%AF.pdf/>

### Додаткова:

1. Anderson Mary P., Wessner William W., Hunt Randall J/ Applied Groundwater modeling.  
URL : <https://www.sciencedirect.com/book/9780120581030/applied-groundwater-modeling#book-info>.
2. Garr M. Jones, Robert L. Sanks. Pumping Station Design, 3rd Edition. Butterworth-Heinemann; 2011. 1104 p.
3. Большаков В.А., Курганович А.А. Гидрологические и гидравлические расчеты малых дорожных сооружений. Киев : Вища школа, 1983. 112 с.  
URL:[https://hydraulics.at.ua/\\_ld/0/38\\_hydrolog.pdf](https://hydraulics.at.ua/_ld/0/38_hydrolog.pdf).
4. Водний фонд України. Штучні водойми — водосховища і ставки : довідник / В.В. Гребінь та ін. Київ : «Інтерпрес ЛТД», 2014. 164 с.  
URL: <https://moodle.znu.edu.ua/enrol/index.php?id=14168>.
5. Naan C., Barfield B., Hayes J. Computational hydrology and sedimentology for small catchments. 1994.588 p.  
URL : <https://www.sciencedirect.com/book/9780123123404/design-hydrology-and-sedimentology-for-small-catchments#book-info>.
6. Дмитрієв А.Ф. Гідротехнічні споруди : підручник.Рівне : Видавництво Рівненського державного технічного університету, 1999.328с.
7. Клименко В. Г. Загальна гідрологія : навчальний посібник . Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. 2012. 258 с.  
URL : <https://studfile.net/preview/5857742/>.
8. Левківський С.С., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г. та ін. Загальна гідрологія. – К.: Фітосоціоцентр, 2000.  
URL : [http://library.udpu.org.ua/library\\_files/ece/6468\\_01.pdf](http://library.udpu.org.ua/library_files/ece/6468_01.pdf).
9. Лівінський О.М. та ін. Конструкції та технологія будівництва інженерних мереж та споруд : підручник. Київ : МП Леся, 2013. 232 с.
10. Линник І.Е., Завальний О.В. Проектування міських територій : підручник : [у 2 ч.]. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. Ч. 2. 544 с.
11. Мандрус В.І. Гідравлічні та аеродинамічні машини (насоси, вентилятори, компресори) : підручник. Львів : Магнолія плюс, 2005. 338 с.
12. Михайлов В. Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А Гидрология : Учебник для вузов. М.: Высшая школа , 2005. 463 с.  
URL : [https://hydraulics.at.ua/\\_ld/1/130\\_99-lyapichev.pdf](https://hydraulics.at.ua/_ld/1/130_99-lyapichev.pdf).
13. План управління басейном ріки Дніпро в Україні: фаза 1, етап 3 економічний аналіз частина : програма що фінансується ЄС.  
URL: [https://www.euwipluseast.eu/images/2020/07/PDF/EUWI\\_UA\\_RBMP\\_Dnipro\\_Economic\\_Analysis\\_1\\_UKR.pdf](https://www.euwipluseast.eu/images/2020/07/PDF/EUWI_UA_RBMP_Dnipro_Economic_Analysis_1_UKR.pdf).
14. Хільчевський В.К., Ободовський, В.В. Гребінь О.Г. Загальна гідрологія : підручник Київ : Видавничополіграфічний центр «Київський університет», 2008. 399 с.  
URL : <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2018-07/REP0000672.PDF>.
15. Хлапук М.М., Шинкарук Л.А., Дим'янюк А.В., Дмитрієва О.А. Гідротехнічні споруди : навчальний посібник Рівне : НУВГП 2013. 241 с.