

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства  
та природокористування

Навчально-науковий інститут водного господарства та  
природооблаштування  
Кафедра геології та гідрології

**01-05-85М**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни

**«ЗАГАЛЬНА ГІДРОЛОГІЯ»**

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за освітньо-професійною програмою «Геологія» спеціальності 103  
«Науки про Землю» за денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою  
з якості ННІВГП  
Протокол № 5  
від 21.12.2021 р.

Рівне – 2021

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Загальна гідрологія» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Геологія» спеціальності 103 «Науки про Землю» за денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Будз О. П. – Рівне : НУВГП, 2021. – 65 с.

Укладач: Будз О. П., к.т.н, доцент кафедри геології та гідрології.

Рецензент: Холоденко В. С., к.геогр.н., доцент кафедри геології та гідрології.

Відповідальний за випуск: Романів О. Я., к.геогр.н., доцент, завідувачка кафедри геології та гідрології.

Керівник групи забезпечення освітньої програми к.геогр.н., доцент

Романів О. Я.

© О. П. Будз, 2021

© НУВГП, 2021

Вступ.....	4
1. Гідрологічна мережа. Водний кадастр.....	5
2. Вивчення коливання режиму рівнів води на річках та водоймах.....	8
3. Промірні роботи.....	21
4. Швидкості течії води.....	30
5. Витрати води.....	41
6. Криві витрат води.....	55
Рекомендована та базова література.....	65

## Вступ

Методичні вказівки призначені для виконання лабораторних робіт під час вивчення дисципліни «Загальна гідрологія».

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Загальна гідрологія» складені відповідно робочої програми для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня підготовки для спеціальності 106 «Географія» спеціалізації «Конструктивна географія, управління водними та мінеральними ресурсами», 103 «Науки про Землю» за спеціалізацією «Геологія» денної та заочної форм навчання.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:

- Основні закономірності формування річкового стоку, живлення та водний режим річок, озер, боліт;
- Склад і видання Водного кадастру;
- Основні методи гідрометричних спостережень на річках і водоймах та їх обробки;
- Основні положення Водного кодексу України.

вміти:

- Визначати морфометричні характеристики річкового басейну;
- На основі наявності гідрологічної інформації та нормативних документів за допомогою відповідних методик визначати основні розрахункові гідрологічні характеристики;
- Знаходити та використовувати необхідну інформацію у виданнях Водного кадастру.

# **Тема 1. Гідрологічна мережа. Водний кадастр**

1.1. Організація гідрологічної мережі

1.2. Водний кадастр, його видання

## **1.1. Організація гідрологічної мережі**

Гідрологічна мережа – сукупність гідрологічних станцій і постів, розміщених в межах будь-якої території (річкового басейну, адміністративного району, республіки) з метою вивчення гідрологічного режиму річок та водойм для обслуговування різних галузей народного господарства. Гідрологічна мережа як складова частина входить в загальну гідрометеорологічну мережу України, яка підпорядковується Державному комітету України по гідрометеорології і контролю природного середовища.

Гідрологічна станція – це установа задачею якої є вивчення гідрологічного режиму вод на території її діяльності. Гідрологічні станції діляться на два розряди. Гідрологічні станції 1-го розряду організують і проводять гідрологічні спостереження та інші пов'язані з ними роботи, обробляють та узагальнюють матеріали по гідрологічному режиму водних об'єктів, обслуговують народне господарство відповідними відомостями і керують роботою прикріплених гідрологічних станцій 2-го розряду і гідрологічних постів.

Гідрологічні станції 2-го розряду виконують ту ж роботу, крім публікації матеріалів спостережень.

Гідрологічний пост – місце вибране на водному об'єкті для проведення спостережень за різними елементами водного режиму. Гідрологічні пости діляться на 3 розряди в залежності від об'єму робіт.

На постах 1-го розряду ведуть спостереження за рівнем і температурою води, льодовими утвореннями і льодовою установкою, вимірюють витрати води і проводять метеорологічні спостереження за програмою метеорологічних постів 1-го розряду. На окремих постах вимірюють витрати наносів і відбирають проби води на каламутність та для хімічного аналізу.

На постах 2-го розряду ведуть спостереження за програмою постів 1-го розряду за виключенням вимірювань витрат води та наносів.

На постах 3-го розряду ведуть спостереження за рівнем і температурою води, льодовими утвореннями та льодовою установкою.

Гідрологічні станції і пости розміщуються із таким розрахунком, щоб при можливо меншій їх кількості можна було отримати достатні і надійні матеріали про водний режим річок та водойм.

Крім державної гідрологічної мережі, можуть улаштуватися відомчі станції і пости для задоволення їх специфічних записів.

## **1.2. Водний кадастр, його видання**

Дані про пункти спостережень за різними елементами водного режиму річок та водойм та матеріали цих спостережень публікуються у виданнях Водного кадастру.

Водний кадастр – систематизована сукупність відомостей про водні ресурси країни. Перше видання водного кадастру для території бувшого СРСР було здійснене в 1933-1940 рр. Друге видання – 1960-1975 рр. Видання водного кадастру складається із 3-х серій, кожна з яких поділена на декілька десятків випусків (за регіонами).

1 серія – "Гидрологическая изученность". Тут наводиться перелік водних об'єктів даної території та їхні морфометричні характеристики, відомості про стаціонарні спостереження елементів водного режиму річок та водойм і проведених експедиційних досліджень.

2 серія – "Основные гидрологические характеристики". Ця серія вміщує детально проаналізовані табличні матеріали з пояснювальним текстом по режиму річок та водойм, складених за даними спостережень на мережі Держкомгідромету та інших відомств.

3 серія - "Водные ресурсы". Ця серія містить рекомендації для проектних та водогосподарських організацій із розрахунків гідрологічних характеристик. Ці рекомендації ґрунтуються на науковому аналізі і узагальненні даних спостережень.

Крім того, Держкомгідрометом видаються "Гідрологічні щорічники", в яких наводяться дані про різні елементи водного режиму за окремі роки.

## **Питання для самоконтролю**

1. Дайте визначення гідрологічній мережі.
2. Складовою частиною якої мережі є гідрологічна мережа.
3. Завдання і функції гідрологічних станцій 1-го розряду.
4. Завдання і функції гідрологічних станцій 2-го розряду.
5. Порядок розміщення гідрологічних станцій.
6. Дайте визначення водному кадастру.
7. Суть 1 серії Водного кадастру.
8. Суть 2 серії Водного кадастру.
9. Суть 3 серії Водного кадастру.

## Тема 2. Вивчення режиму коливання рівнів води.

2.1. Типи водомірних постів

2.2. Обсяг роботи і строки проведення спостережень на водомірному посту.

2.3. Обробка водомірних спостережень

### 2.1. Типи водомірних постів

Рівень води – одна з основних характеристик водного режиму, яка широко використовується в різних галузях народного господарства. Використання річок для водного транспорту і лісосплаву пов'язане із знанням рівнів води; проектування, спорудження і експлуатація різних гідротехнічних споруд потребують знання не лише зміни висоти рівнів, але й амплітуди коливання їх. Будівництво осушувальних і зрошувальних каналів також потребує даних про стан рівнів води в річках. Крім того, дані про рівні води дають можливість обчислити одну з характеристик стоку – витрату води.

Основною причиною коливання рівнів води є зміна витрати води в річках, а також деформація, заростання русла, льодові явища, гідротехнічні споруди, припливи і відпливи тощо.

Рівнем води називають висоту водної поверхні, яку відлічують відносно деякої сталої площини порівняння, яку називають нулем графіка водомірного поста і яка призначається не менше як на 0.5 м нижче мінімального історичного рівня води (рис. 1)

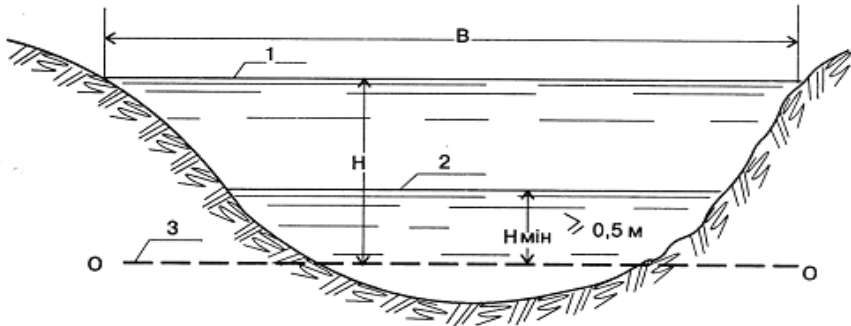


Рис. 1. Поперечний переріз потоку;

1 – рівень води; 2 – мінімальний рівень води; 3 – нуль графіка водопоста; B – ширина потоку



Водомірні пости бувають постійні і тимчасові. Постійні водомірні пости створюють для вивчення режиму водного об'єкта протягом тривалого часу. Це основний вид поста. Тимчасові водомірні пости організують для проведення спеціальних спостережень на відносно короткий строк – сезон, рік, кілька років або на період проведення досліджень пошуковою партією на даній рчвці чи в районі.

За **способом влаштування** водомірні пости бувають: прості, передавальні, самописні, дистанційні.

**Прості водомірні пости.** Ці пости поділяють на рейкові, пальові, мішані. *Рейкові водомірні пости* бувають з вертикальною і похилою рейкою.

Водомірний пост з вертикальною рейкою обладнують на крутих берегах або там, де є споруди – містки, греблі, набережні. За їхньої відсутності вертикальну рейку прикріплюють до палі (рис.2).

Рейку встановлюють у такому місці, де вона не пошкоджується льодом, пароплавами, плотами тощо. Водомірні рейки бувають дерев'яні і металеві. Водомірний пост з вертикальною рейкою може складатись з однієї чи кількох рейок залежно від конфігурації берега і амплітуди коливання рівнів води в річці. Довжина рейки (чи рейок) повинна перевищувати

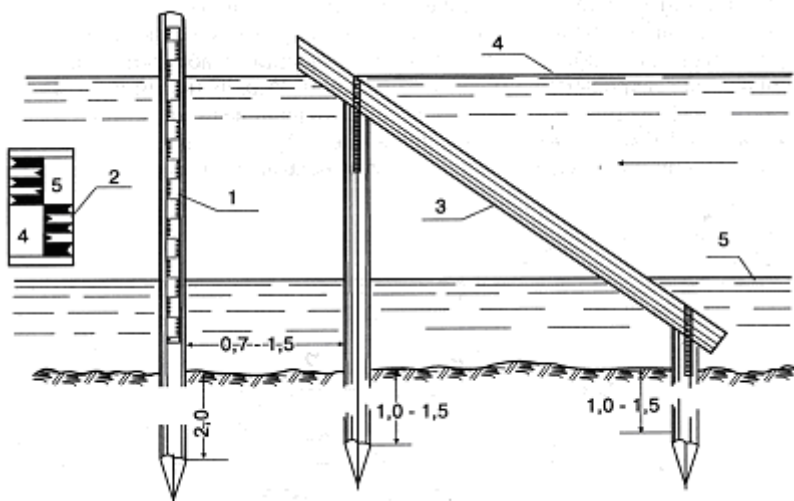


Рис. 2. Водомірний пост з вертикальною рейкою:

1 – рейка, закріплена на палі; 2 – частина водомірної рейки; 3 – перегородження рейки; 4 – рівень високих вод; 5 – рівень низьких вод

амплітуду коливання рівнів води на 1,0 м. Нульова поділка її має бути на 0,5 м нижчою від можливого найнижчого рівня води, верх рейки – на 0,5 м вищим від можливого найвищого рівня. Крайні значення рівнів води на ділянці майбутнього поста встановлюють за літературними даними, за мітками високих вод або опитавши старожилів з місцевого населення.

**Водомірний пост з похилою рейкою** встановлюють на ділянці річки з пологим ( $20-60^{\circ}$ ) берегом, що не розмивається і не замулюється. Принцип спорудження такого поста показаний на рис.3. Поділки на похилій рейці повинні відповідати зміні на 1см вертикальної рейки, тобто 1см по вертикалі буде дорівнювати  $l=1/\sin \alpha$  см на похилій рейці. Тут  $\alpha$  – кут похилу щодо горизонту. Водомірні пости з похилою рейкою краще захищені від пошкоджень, вимірювання рівнів води на них зручніше і точніше, але створення таких постів дорожче і складніше – на кожен пост необхідно виготовляти „індивідуальну” рейку.

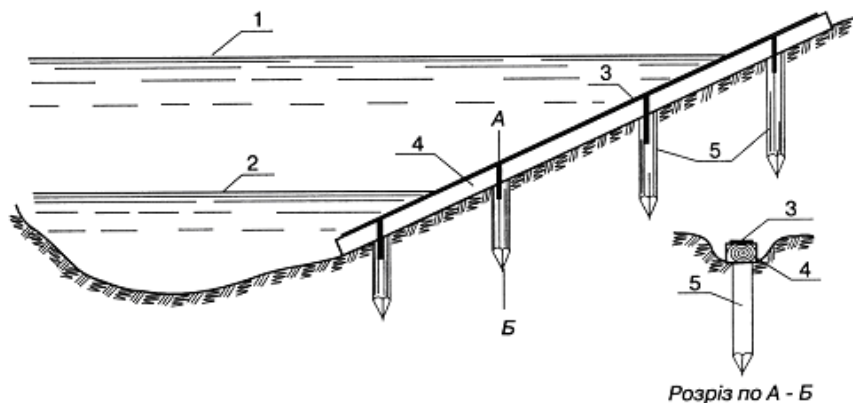


Рис. 3. Водомірний пост з похилою рейкою:

1 – рівень високих вод; 2 – рівень низьких вод; 3 – похила рейка; 4 – брус; 5 – палі

Площина, що проходить через нижній кінець рейки називається нулем відліку. Перевищення нуля відліку над нулем графіка водомірного поста є приводка рейки.

**Пальові водомірні пости** встановлюють на рівнинних річках з похилими берегами і значною амплітудою коливання рівнів води. Такий пост складається із паль, розташованих в одному створі, який

перпендикулярний середньому напрямку течії води. Палі нумерують по порядку, починаючи з верхньої. Рівні води відраховують за переносною рейкою (рис.4), яку ставлять вертикально на найближчу до берега палю, розташовану під водою.

У цьому випадку відмітка головки палі є нулем водомірних спостережень. Одночасно із записом відліку по рейці записують номер палі. Різниця між відміткою нуля водомірних спостережень і відміткою нуля графіка водомірного поста називається приведенням до нуля графіка поста (рис.4). Застосовують палі металеві гвинтові, металеві з відрізків труб або балок чи дерев'яні ( діаметром 0,20-0,25 м). Головки палей мають бути строго горизонтальні. У торець дерев'яних палей забивають залізний костиль, або великий з круглою головкою цвях, на який і ставлять переносну водомірну рейку. Палі забивають у ґрунт так, щоб нижній її кінець заходив у ґрунт, що не промерзає, не менше як на 0,5 м. Після встановлення палі зрізують горизонтально з таким розрахунком, щоб їхні головки були над поверхнею землі на 10-15 см.

**Мішані водомірні пости** поєднують елементи рейкового і пальового постів. Їх споруджують на річках з різкими переломами схилів берега: на крутій частині берега – рейка, на похилій – паля або навпаки – залежно від місцевих умов. Після побудови мішаного водомірного поста головки палей і нулі рейок за допомогою нівеліра прив'язують до репера і обчислюють перевищення (приводка) над нулем графіка поста.

**Передавальні водомірні пости** споруджують тоді, коли підхід до води утруднений ( наприклад, дуже круті береги ). Рівні води в таких випадках заміряють по відстані від деякої постійної точки до поверхні води. До передавальних водомірних постів належать: мостові пости, пости з виносною стрілою і стрілковий покажчик рівня [ 4 ]. Схема передавального поста з виносною стрілою зображена на рис. 5.

Пости з виносною стрілою споруджують на річках з крутими берегами (і за неможливості використати наявні гідротехнічні споруди). Пост складається з горизонтально закріпленої на полях стріли (дерев'яний брус, металева труба чи ферма). На стрілі горизонтально закріплена рейка нулем до річки. На кінці стріли закріплений невеликий шків (ролик), через який проходить тонкий трос з важком (5-6 кг) на кінці. Для спуску або підйому троса на

березі встановлено барабан, на який намотується трос. На тросі проти нульової поділки рейки закріплений показчик при положенні важка, зануреного у воду на 0,5 м нижче від можливого найнижчого рівня води.

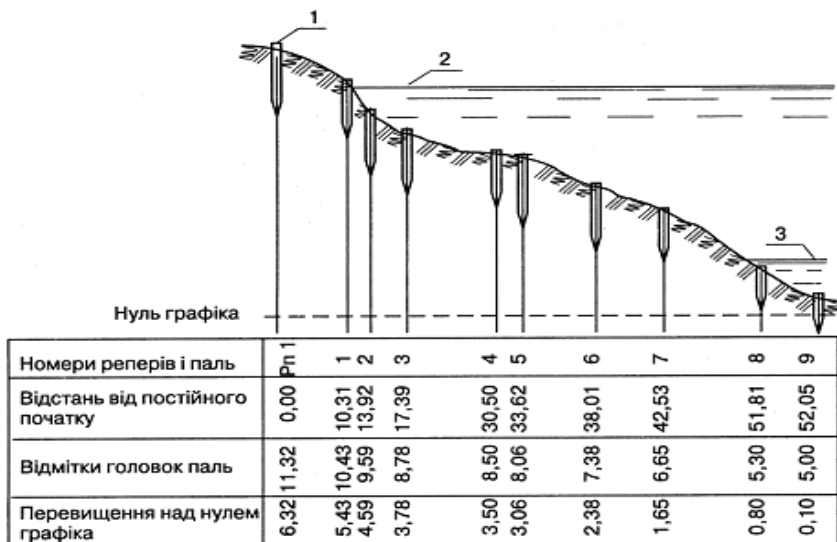


Рис. 4. Пальовий водомірний пост

1 – репер; 2 – рівень високих вод; 3 – рівень низьких вод

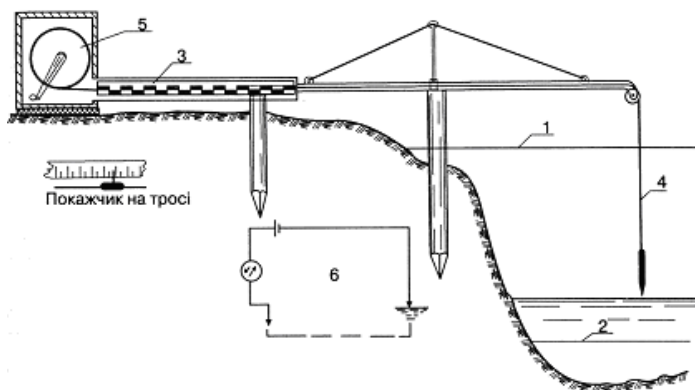


Рис. 5. Передавальний пост:

1 – рівень високих вод; 2 – рівень низьких вод; 3 – рейка; 4 – трос із важком; 5 – барабан; 6 – схема електроконтакту

Для вимірювання рівня води важко опускають до поверхні води і в цей момент роблять відлік по рейці проти покажчика. Момент торкання важка до води доцільно фіксувати за допомогою електроконтакту, при якому подається світловий чи звуковий сигнал. Точність вимірювання рівнів води на передавальних постах з виносною стрілою становить 2-3 см, а за наявності електроконтакту – 1 см.

**Самописні водомірні пости** встановлюють на водоймах, рівень води у яких різко змінюється протягом доби. Основним приладом самописного поста є самописець. Практично всі самописці рівня води складаються з двох основних елементів: датчика рівня і записуючого пристрою. Датчик рівня води може бути поплавковим або манометричним. При зміні рівнів води у водоймі поплавков самописця підіймається або опускається і його рух за допомогою троса передається на записуючий пристрій, що складається з циліндра, на який закріплена паперова стрічка, та каретки з пером і годинниковим механізмом. Коливання рівнів води записується у певному масштабі. Тривалість роботи самописця без підзаведення годинника – від 1 доби до 9 міс. На самописних водомірних постах в Україні переважають самописці типу „Валдай” з добовим заводом годинникового механізму.

Способи встановлення самописців рівня води досить різноманітні (рис.6), однак їх можна поділити на *острівний і береговий типи*. Перший – коли самописець встановлюють у руслі річки, на водосховищі (озері) на спеціальній споруді, і другий, береговий, коли самописець встановлюють на березі водойми над колодязем, який трубою з'єднаний із водоймою.

**Дистанційні водомірні пости** застосовують переважно для потреб диспетчерської служби на гідроелектростанціях, водному транспорті, зрошувальних системах, а також на річках у малонаселених і важкодоступних районах. На таких постах встановлюють прилади, які автоматично передають на відстань дані про рівні води в зазначений час або безперервно. Для передачі даних використовують механічний, електропровідний або радіозв'язок.

Незалежно від конструкції і принципу дії всі дистанційні пости складаються з датчика, джерела живлення, каналу зв'язку і реєстратора даних про рівні (рис.7).

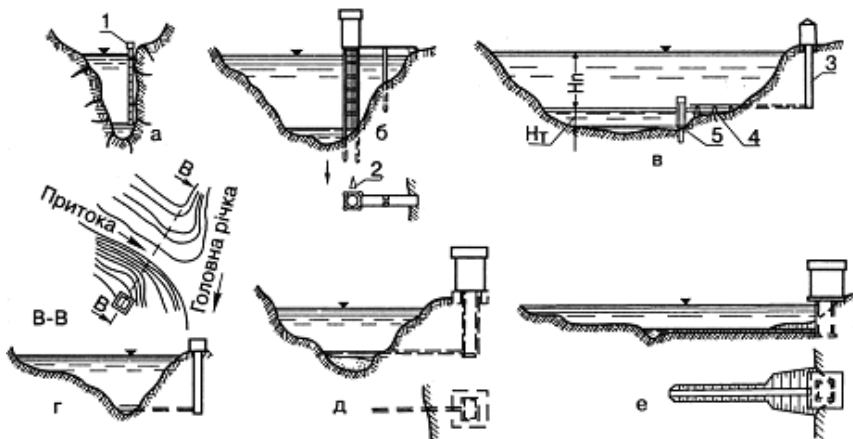


Рис. 6. Схеми розташування установок самописця рівнів води:

А) на річці з обривистими скельними берегами і великою амплітудою коливання рівнів води; б) острівного типу; в) комбінована установка на річці з широким руслом і великою амплітудою коливання рівнів води; г) на притоці; д) берегового типу з підведенням води трубою; е) берегового типу з підведенням води відкритим каналом

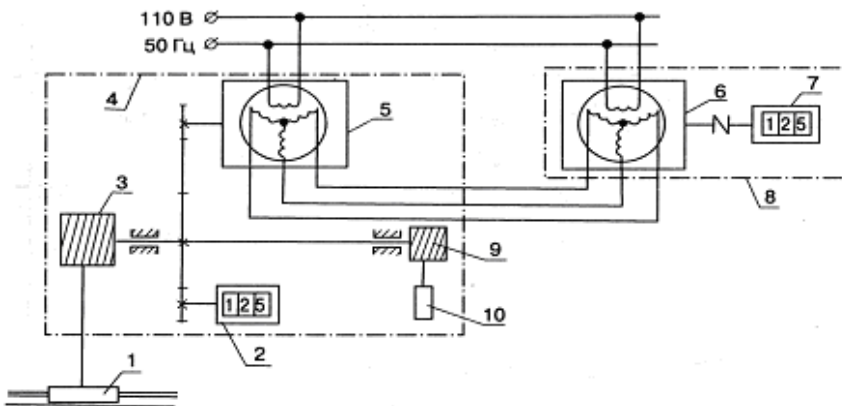


Рис. 7. Принципова схема дистанційного рівнеміра:

1 – поплавок; 2 – показчик місцевого відліку рівня; 3 – барабан; 4 – сельсинний датчик рівня; 5 – сельсин-датчик; 6 – сельсин-приймач; 7- показчик вторинного приладу; 8 – сельсинний приймач; 9 – барабан; 10 – противага

## **2.2. Обсяг роботи і строки проведення спостережень на водомірному посту**

Пункт, обладнаний пристроями і приладами для спостережень за гідрологічним режимом вод, називається гідрологічним постом або гідрологічною станцією. Станція відрізняється від поста більшим обсягом спостережень.

При розміщенні водомірних постів для вивчення гідрологічного режиму водних об'єктів і території в цілому необхідно намагатися, щоб можливі зміни гідрологічних характеристик в часі і на території були б вивчені при найменшому числі пунктів стаціонарних спостережень.

Основними строками спостережень за рівнями води є 8-а і 20-а год за місцевим часом. У межений період, коли рівні води змінюються мало, спостереження можна проводити лише один раз на добу – о 8-й год. Під час повені і паводків, крім 8-ї і 20-ї год, спостереження ведуть ще і в додаткові строки через однакові проміжки часу – через 2, 4, 6, іноді через 8 год.

Температуру води вимірюють щодня о 8-й і 20-й год, а на постах з одностроковим спостереженням – о 8-й год. Спостереження за температурою води в річці починають навесні з появою відлиг і припиняють восени через 3-5 діб після встановлення сталого льодоставу. На річках з несталим льодовим режимом спостереження за температурою проводять безперервно.

За льодовими явищами спостерігають від появи первинних льодових утворень восени і до закінчення льодоходу навесні.

Узимку на річках, де спостерігаються льодові явища, вимірюють висоту снігу на льоду, товщину останнього і шуги. Місце для вимірювання вибирають у створі поста посеред річки там, де товщина льоду характерна для всієї ділянки річки. Це місце вибирають у результаті льодомірних зйомок. Товщину льоду на річках із сталим льодовим покривом вимірюють кожного 1-ого, 20-го числа і в останній день місяця. На річках з можливими відлигами, а також на інформаційних постах товщину льоду вимірюють 5-го, 10-го, 15-го, 20-го, 25-го числа і в останній день місяця.

## **2. 3. Обробка водомірних спостережень**

Розрізняють первинну і спеціальну обробку водомірних спостережень. Первинна обробка водомірних спостережень

проводиться щодня спостерігачем поста і полягає в приведенні рівнів води до нуля графіка і обчисленні середнього рівня за добу. Для цього до відліку рівня води по постійній рейці рейкового поста (або переносній рейці пального поста) додають різницю між відмітками нуля спостережень і нуля графіка (приводку).

За даними рівнів води за окремі строки спостережень обчислюють їхні середньодобові значення. Якщо рівні води на протязі доби вимірювалися через рівні проміжки часу то середньодобовий рівень обчислюють як середню арифметичну величину, в протилежному випадку – як середньозважену величину. Обчислення середнього рівня води за місяць провадиться за даними середньодобових рівнів. Потім з усіх даних строкових спостережень вибирають максимальний і мінімальний рівні за місяць і відповідні їм дати. Обробка зазначених даних проводиться у книжці для запису водомірних спостережень.

Після перевірки цих книжок на гідрологічній станції дані про рівні води з них переносять до річної таблиці щоденних рівнів води. Середній рівень води за рік обчислюють за середньомісячними величинами, а найвищий і найнижчий рівні за рік вибирають з максимальних і мінімальних рівнів за місяць.

За даними річної таблиці щоденних рівнів води будують графік коливання рівнів води (рис. 9).

**Спеціальна обробка рівнів води** включає визначення характерних рівнів, побудову графіків зв'язку відповідних рівнів так кривих повторюваності і тривалості стояння рівнів води. Рівні на сусідніх водомірних постах, які характеризують одну й ту саму фазу (максимальні на підйомі, мінімальні на спаді та ін.) режиму рівнів річки, називають відповідними.

Відповідні рівні на верхньому і нижньому постах можуть спостерігатися в різні дні. Невідповідність у часі залежить від тривалості добігання води між постами.

Графік зв'язку відповідних рівнів представлений на рис. 8

На основі цього графіка за рівнями води одного поста можна відновити рівні, яких бракує, іншого поста. Графіки зв'язку відповідних рівнів використовують також для прогнозу рівнів води нижнього поста за спостережуваними рівнями верхнього поста.

При проектуванні ГТС і використанні річок для зрошування, судноплавства, лісосплаву тощо потрібно знати повторюваність (частоту) рівнів певної висоти і тривалість (забезпеченість) їх у



потрібних висотних меж протягом навігаційного, вегетаційного, зимового або будь-якого іншого періоду року.

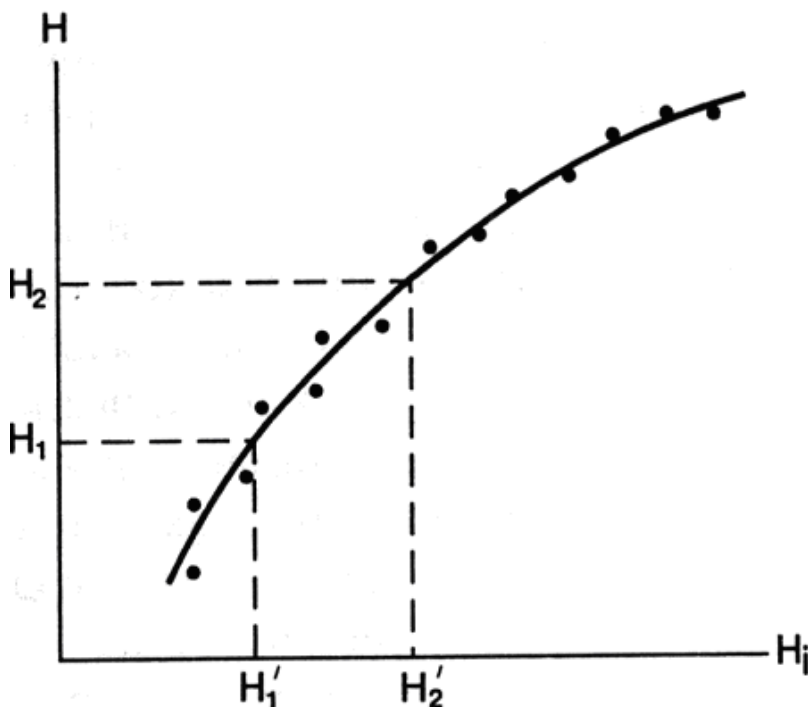


Рис. 8. Графік зв'язку відповідних рівнів води

Для цього рівні води піддають спеціальній статистичній обробці і за одержаними даними будують криві повторюваності та тривалості рівнів води (рис.9).

Вихідними даними для побудови кривих повторюваності та тривалості є річна таблиця середньодобових рівнів. Розрахунки координат цих кривих ведуть в наступному порядку. Спочатку визначають амплітуду коливання рівнів води на протязі року, як різницю між найвищим і найнижчим рівнем води. Далі амплітуду розбивають на рівні інтервали, починаючи з найвищого рівня. Останній інтервал може відрізнятися від попередніх. Загальна кількість інтервалів повинна бути не меншою 10-12. Далі визначають число днів стояння рівнів води в кожному інтервалі за кожний місяць. Сума числа днів стояння рівнів води за кожний місяць

(сума по вертикалі) повинна дорівнювати числу днів в місяці. Складаючи числа днів стояння за кожний інтервал (сума по горизонталі) отримуємо повторюваність рівнів води. Розрахунки координат кривих повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) ведуть за таблицею 5.

Для побудови кривих повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) (рис. 9) на осі координат відкладають вибрані інтервали, а на осі абсцис – дні та проценти. Необхідно мати на увазі, що при побудові кривої повторюваності (частоти) обчислені в табл. 1 значення відкладають для середини відповідного інтервалу, а при побудові кривої тривалості (забезпеченості) – для кінця інтервалу. Повторюваністю називається число днів за розрахунковий період, коли спостерігався рівень в даній висотній зоні (інтервалі). Повторюваність розрахована у відсотках від тривалості розрахункового періоду, називається частотою. Тривалістю називається число днів за розрахунковий період, коли спостерігався рівень вищий або рівний даному. Тривалість розрахована у відсотках від тривалості періоду називають забезпеченістю.

Далі визначають модальний та медіальний рівні, верхній та нижній квадрильянні рівні.

Модальний рівень – це значення змінної, яке відповідає найбільшій частоті.

Медіанний рівень – це значення змінної, яке ділить ряд на дві рівні частини.

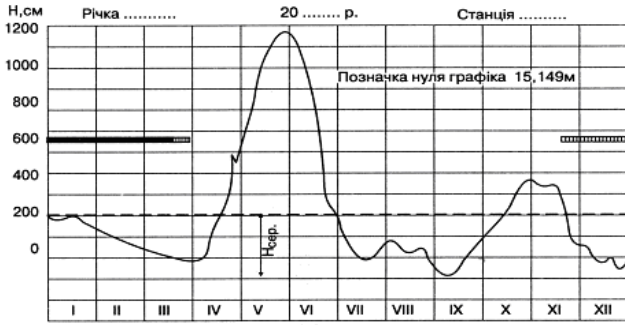
Верхній квадрильярний рівень – відповідає забезпеченості 25 %.

Нижній квадрильярний рівень – відповідає забезпеченості 75 %.

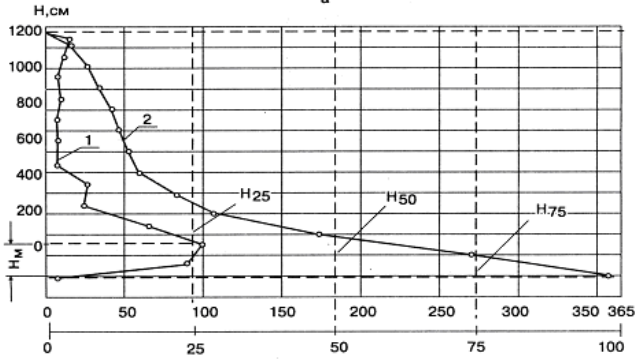
Таблиця 5.

Відомість повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води на р. \_\_\_\_\_ біля п. \_\_\_\_\_ за 19 \_\_\_\_ рік

Інтервали рівнів, см	Число днів стояння рівнів в інтервалах (по місяцях)						Повторюваність (частота)		Тривалість (забезпеченість)	
	1	2	3	4	5	6	дні	%	дні	%



а



б

Рис. 9. Графік коливань рівня води (а), криві повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) рівнів води (б):  
1 – частота коливання рівнів; 2 – забезпеченість рівнів

### Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення, що таке рівень води.
2. Як називають місце на річці де проводять спостереження за рівнем води.
3. Які типи водомірних постів ви знаєте, коли який тип влаштовують.
4. Система відміток на водомірних постах.
5. Що є умовною площиною на водомірному посту та як її влаштовують.
6. Що таке приводка.
7. Скільки разів на добу знімають відлік рівня води.
8. Який обсяг роботи на водомірному посту.
9. Що включає первинна обробка даних спостережень.
10. Дайте визначення відповідним рівням води.
11. В чому полягає спеціальна обробка даних спостережень.

## **Тема 3. Промірні роботи**

- 3.1. Прилади, що використовуються при промірних роботах
- 3.2. Способи проведення промірних робіт
- 3.3. Обробка матеріалів промірних робіт

Метою промірних робіт є визначення глибини і характеру дна річки, озера чи іншої водойми. В результаті промірних робіт можна дістати план русла річки, поперечні і поздовжні профілі, характеристики рельєфу дна. Промірні роботи виконуються обов'язково при виборі місця для водомірного поста, вимірюванні витрат води, наносів. При проведенні промірних робіт обов'язковим є одночасне вимірювання рівнів води. Всі проміри повинні бути приведені до одного розрахункового (умовного) рівня який відповідає певному моменту часу.

### **3.1. Прилади, що використовуються при промірних роботах**

Прилади для проведення промірних робіт поділяють на: **ручні, механічні, акустичні.**

До ручних приладів відносять: водомірну або нівелірну рейку, мірку, ручний лот. При глибинах до 3м застосовують рейку. Її ставлять вертикально на дно нулем униз і роблять відлік на рівні поверхні води. Це і буде глибина, точність методу 1см. При більших глибинах використовують мірку. Це кругла дерев'яна жердина діаметром 4-6 см і завдовжки 5-7м, розмічена через 10 см червоною і білою фарбами. На нижній кінець надітий металевий башмак масою 0,5-1кг. Точність вимірювань 2-5 см. Ручний лот представляє собою металеву (чавунну або свинцеву) вагу масою до 5 кг з вушком для прикріплення лотління. Лотлінь – це шнур діаметром 3-5мм або м'який сталевий трос діаметром 1-2мм. Точність вимірювання 10 см (рис. 10).

До механічних приладів відносять: механічний лот. Він складається: з ручної лебідки яка містить лічильний пристрій, що служить для опускання і підйому ваги (лота) при вимірюванні глибин; троса, на якому опускається вага під час промірів. (рис.10).

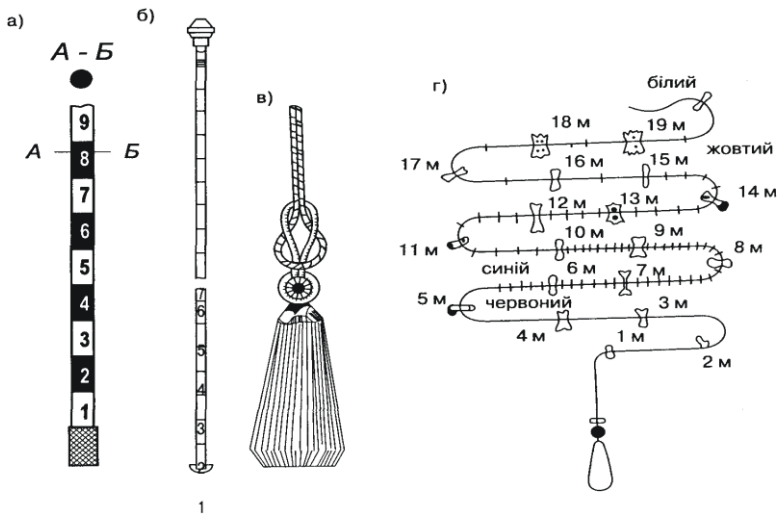


Рис. 10. Мірка, лот і лот ручний:

а – мірка; б – плавуча мірка; в – лот; г – лот із розміченим лотлінем

Для виконання промірів та інших гідрометричних робіт застосовують лебідки типу "Нева", "Луґа", ГР-36. (рис.11 )

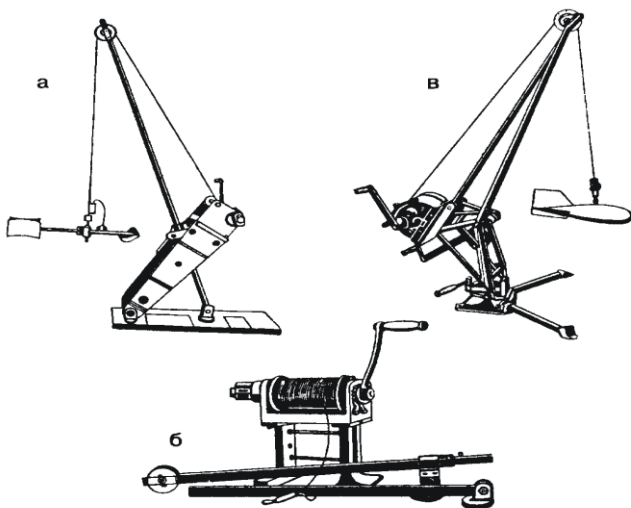


Рис. 11. Гідрометричні лебідки:

а – „Нева”; б – „Луґа”; в – ГР-36

При вимірюванні механічним лотом глибину у якійсь точці визначають за формулою

$$h = l - a - \Delta_1, \quad (1)$$

де  $h$  – глибина в точці;  $l$  – довжина розмотаного троса за лічильником,  $a$  – висота виносу стріли над поверхнею води;  $\Delta_1$  – поправка, що вводиться за спеціальною таблицею в залежності від кута відхилення  $\alpha$  (рис. 12)

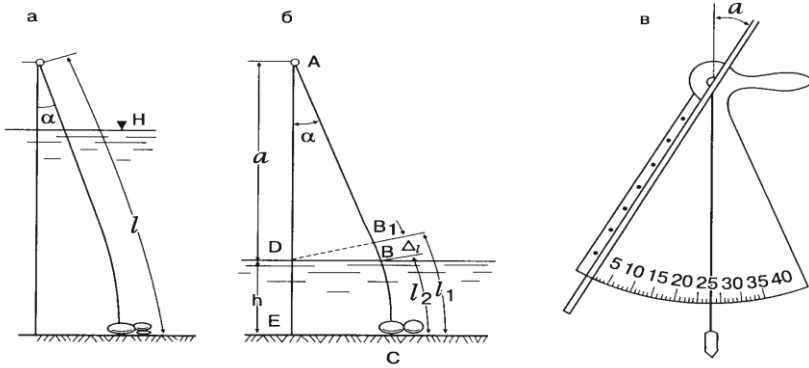


Рис. 12. Схеми визначення поправок на віднесення лотліня течією (а, б) і найпростіший кутомір

До акустичних приладів відносять ехолот. Принцип роботи ґрунтується на вимірюванні часу проходження у воді ультразвукового імпульсу, який посилає вібратор-випромінювач, а приймає відбитий від дна сигнал ехо – вібратор – приймач (рис. 13).

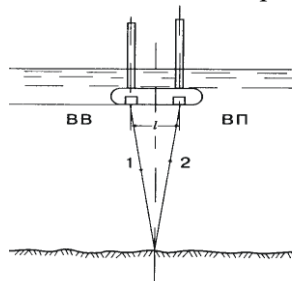


Рис. 13 Схема вимірювання глибин ехолотом:  
ВВ – вібратор-випромінювач; ВП – вібратор-приймач; 1 – прямий ультразвуковий імпульс; 2 – відбитий ультразвуковий імпульс.

Глибину води  $h$  визначають за формулою:

$$h = \sqrt{\left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} + d, \quad (2)$$

де  $c$  – швидкість поширення ультразвуку в воді;  $\Delta t$  - час проходження ультразвукового імпульсу від вібратора-водовипромінювача до дна і від дна до вібратора-приймача;

$d$  – глибина занурення вібратора;  $l$  – відстань між вібраторами.

Швидкість поширення ультразвуку в воді залежить від температури і солоності води. У прісній воді при температурі 14°C швидкість поширення ультразвуку  $c = 1462$  м/сек. На практиці використовують такі ехолоти: РЕЛ – 1М; ПЕЛ – 2.

### 3.2. Способи проведення промірних робіт

При проведенні промірних робіт для кожної промірної точки необхідно визначити глибину води (вертикальну відстань від поверхні води до дна) та її положення в плані, відмітку рівня води і характер ґрунту на дні.

Координати промірних точок в залежності від конкретних умов визначають одним із способів:

- 1) по натягнутому вздовж створа розміченому тросу;
- 2) засічками промірних точок з берега кутомірними інструментами (теодоліти, мензули з кіпрегелем);
- 3) засічками кутомірними інструментами орієнтирів на березі (секстант);
- 4) радіо геодезичними методами при промірах на великих водоймах.

В залежності від розмірів річки та швидкості течії, проміри глибин можна здійснювати по поперечних і поздовжніх профілях, по косих галсах і змішаним способом.

При проведенні промірних робіт по поперечних профілях останнє розбивають перпендикулярно до магістралі та закріплюють на магістралі і на урізах води невеликими палями. Відстань між поперечниками для середніх умов назначають через 1/2 - 1/3 ширини річки, якщо вона не перевищує 100 метрів, і через 1/3 – 1/4 при ширині річки до 1000м. кількість промірних точок на кожному поперечнику на річках завширшки до 50м вибирають 10-20, при ширині річки 100-300м – 20-30 і при ширині до 1000м – 40-50.



Засічки промірних точок здійснюють або по розміченому тросу (при ширині річки до 100-150м і швидкості течії до 1,5м), або за допомогою одного чи двох кутомірних інструментів (рис. 14).

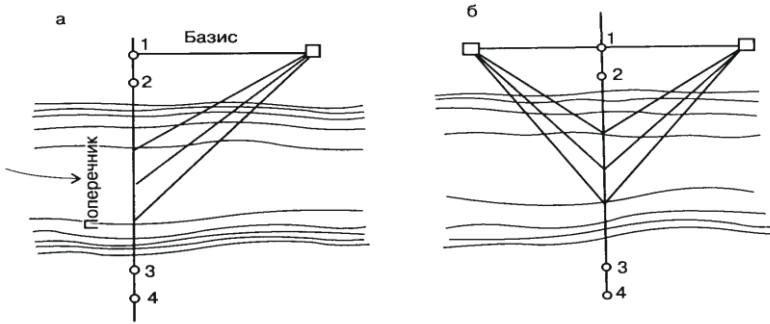


Рис.14 Схема засічок промірних вертикалей на поперечнику одним (а) і двома (б) кутомірними інструментами

Проміри можна проводити з човна, з гідрометричного містка, з люльки, або з льоду.

Проміри глибин поздовжніх профілях здійснюють при великих швидкостях течії і значних глибинах. Поздовжні профілі намічають рівномірно по ширині річки, приблизно через 1/10 – 1/20 її ширини. Положення промірних точок при цьому фіксують двома кутомірними інструментами (рис. 15).

Проміри по косих галсах здійснюють при значних швидкостях течії води, або коли необхідно виконати проміри на великих ділянках річки. При виконанні промірних робіт по косих галсах (рис.15) човен що зноситься течією, перетинає річку від берега до берега під кутом 15-30°.

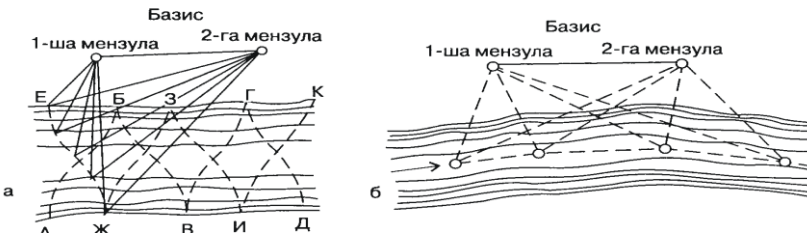


Рис. 15 Схема промірів косими галсами (а) і по поздовжніх профілях (б)

Галси назначають через  $1/4 - 1/2$  ширини річки. Засічки промірних точок здійснюють двома кутомірними інструментами.

Проміри глибин змішаним способом виконують при наявності складного рельєфу дна, коли одним із наведених способів не можна із достатньою точністю виявити всі особливості будови русла річки. У цьому випадку проміри по поперечних профілях, або косих галсах комбінують з промірами по поздовжніх профілях.

### **3.3. Обробка матеріалів промірних робіт**

При виконанні промірних робіт, дані вимірювань записують у журналі стандартної форми. Записують такі дані:

1)місцезоположення профілю відносно магістралі; 2)спосіб координування промірних точок; 3) прилад, яким вимірювались глибини; 4) час початку і кінця проміру; 5) рівень води на вод посту на початку і в кінці проміру; 6) стан погоди і річки під час проміру. Для кожної промірної точки визначають відмітку дна.

Матеріали промірних робіт використовують для побудови поперечних профілів і визначень морфометричних характеристик русла, для побудови поздовжніх профілів і плану ділянки річки або водойми в ізобатах та горизонталях.

### **Побудова поперечного профілю і визначення морфометричних характеристик русла**

За даними промірних робіт на міліметровому папері будують поперечний профіль за наведеною формулою (рис. 16).

До морфометричних характеристик належать: ширина річки, площа поперечного перерізу русла, середня глибина, змочений периметр, гідравлічний радіус.

Ширина річки це відстань між урізами по поверхні води для даного поперечного перерізу.

Площу водного перерізу обчислюють аналітично або вимірюють планіметром. Спосіб аналітичного обчислення показаний на схемі (рис.17).

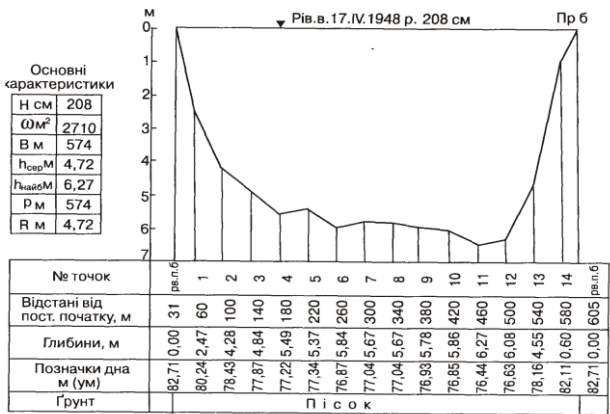


Рис. 16. Поперечний профіль річки

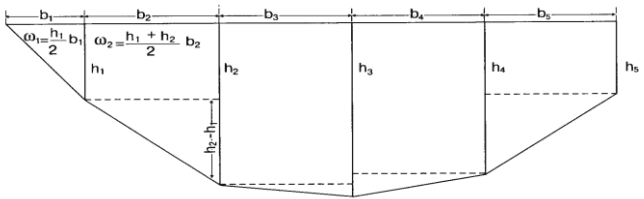


Рис. 17. Схема обчислення площі водного перерізу і довжини змоченого периметра

У межах поперечного перерізу слід відрізняти площу власне поперечного перерізу, площу водного перерізу, площу живого перерізу і площу мертвих зон.

Площею поперечного перерізу називається площа обмежена лініями рівня води і контурами русла річки.

Площа водного перерізу при відкритому русі дорівнює площі поперечного перерізу. За наявності льодяного покриття площа водного перерізу дорівнює різниці між площею поперечного перерізу і площею зануреного льоду.

Площею живого перерізу називають ту частину водного перерізу, де спостерігається рух води. Площею мертвих зон називають ту частину площі водного перерізу де не має руху води.

Середню глибину  $h_{сер}$  обчислюють як частку від ділення площі водного перерізу  $\omega$  на ширину річки  $B$

$$h_{сер} = \frac{\omega}{B}$$

Змочений периметр – довжина лінії, яка проходить по дну річки від урізу до урізу. За наявності льоду до довжини змоченого периметра додають довжину нижньої поверхні льоду. Змочений периметр виміряють за допомогою курвиметра або аналітичним способом. (див. рис. 17).

Для побудови плану ділянки річки або водойми в ізобатах або в горизонталях, зведені до умовного рівня глибини чи відмітки дна в кожній промірній точці наносять на планшет з точністю до 1 см. Потім проводять ізобати (лінії рівних глибин) або горизонталі (лінії рівних відміток) (рис. 18).

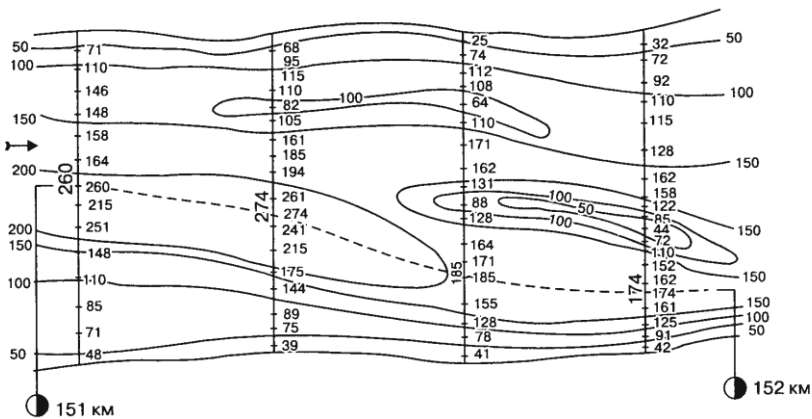


Рис. 18. План ділянки русла в ізобатах

Відстань між ізобатами чи горизонталями встановлюють залежно від масштабу зйомки і глибин у річці чи водоймі.

Для побудови поздовжнього профілю річки використовують дані нівелювання і промірів русла річки, зведених до умовного рівня (рис. 19).

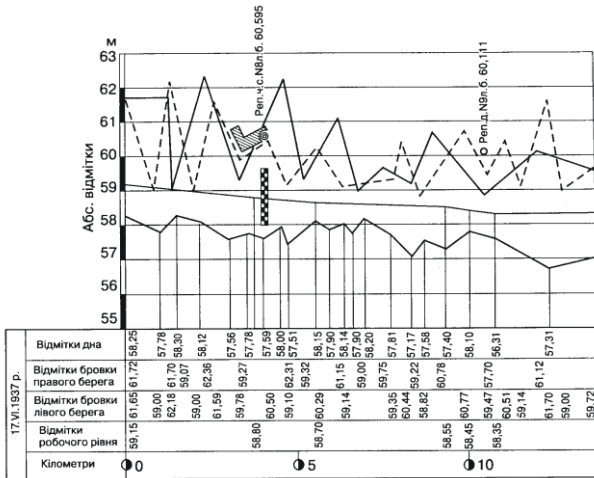


Рис. 19. Поздовжній профіль ділянки річки

### Питання для самоконтролю

1. Що таке глибина річки.
2. Як називають лінію рівних глибин.
3. Які існують прилади для вимірювання глибин.
4. Принцип дії ехолота.
5. Які способи проведення промірних робіт ви знаєте.
6. Як називають лінію максимальних глибин.
7. В чому полягає обробка промірних робіт.
8. Які морфометричні характеристики поперечного перерізу ви знаєте.
9. Що таке живий переріз.
10. Яким чином визначають площу водного перерізу.

## Тема 4. Швидкості течії води

- 4.1. Поняття про миттєву та місцеву швидкості
- 4.2. Характер розподілу швидкостей в потоці.
- 4.3. Методи вимірювання швидкостей течії води
- 4.4. Вимірювання швидкостей течії води гідрометричними поплавками.
- 4.5. Гідрометричні млинки
- 4.6. Гідрометричні трубки
- 4.7. Батометри – тахіметри

### 4.1. Поняття про миттєву та місцеву швидкості.

Швидкістю течії води в потоці називається віддаль, на яку переміститься за одиницю часу в процесі руху частинка або деякий об'єм води. У руслових потоках спостерігається турбулентний режим руху води, який характеризується переміщенням мас води, що спричинює пульсацію швидкостей як за величиною, так і за напрямком.

У зв'язку з наявністю пульсації швидкостей розрізняють миттєву і місцеву швидкість в точці потоку. *Миттєвою швидкістю* називається швидкість в даній точці потоку в дану мить. Вона змінюється в часі як за величиною так і за напрямком. Швидкість течії в точці потоку, усереднена за певний час, *називається місцевою швидкістю* і визначається за виразом

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_t u dt, \quad (3)$$

де  $\int_t u dt$  - площа графіка пульсації швидкості;  $T$  – період осереднення. Період осереднення приймається рівним 100с. Це означає, що для визначення місцевої швидкості в точці, тривалість вимірювання повинна тривати не менше 100 с. Надалі будемо розглядати місцеві швидкості потоку і позначати їх буквою  $u$  без риси.

### 4.2. Характер розподілу швидкостей в потоці.

Розподіл швидкостей течії води в річному потоці залежить від морфологічних особливостей та шорсткості русла, уклону

водної поверхні потоку. Розглянемо розподіл швидкостей по глибині потоку. Графік розподілу швидкостей по глибині потоку (від поверхні води до дна) називається *епюрою швидкостей* або *гидрографом* (рис. 20).

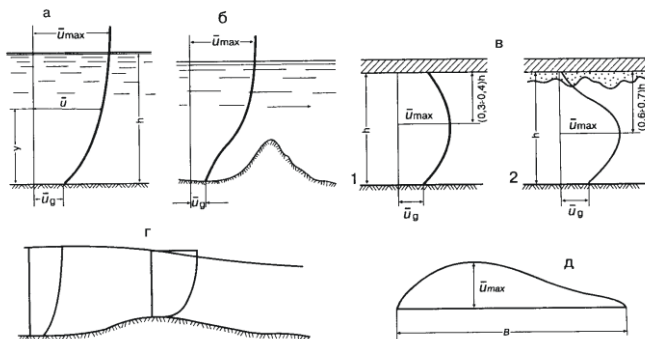


Рис. 20. Епюри швидкостей течії

а) на вертикалі; б) на вертикалі біля перешкоди; в) на вертикалі при льодовому покриві (1) і при шугі (2); г) на вертикалі від плеса до перекату; д) поверхневих швидкостей по ширині річки

При відкритому руслі найбільша швидкість спостерігається на поверхні потоку, а найменша – біля дна. Це зумовлюється тим, що сила тертя між шарами води та повітря значно менша, ніж сила тертя між шаром води та дном. Якщо виміряти площу епюри швидкостей і поділити її на глибину вертикалі, то одержимо середню швидкість на вертикалі ( $u_e$ ). Середня швидкість на вертикалі виражається залежністю

$$u_e = \frac{1}{h} \int_0^h u dh. \quad (4)$$

Середня швидкість на вертикалі знаходиться близько  $0,6h$  від поверхні води. При наявності льодового покриву найбільша швидкість переважно буває на  $0,3-0,4$  глибини від поверхні води, а коли крім льоду є ще й шуга, то максимальна швидкість буде на  $(0,6 \div 0,7)h$  від поверхні води. Розподіл швидкостей (поверхневих або середніх на вертикалі) по ширині річки називають епюрою швидкостей по ширині річки (рис. 21а). Розподіл швидкостей по

живому перерізу річки можна зобразити у вигляді *ізотак* – лініях рівних швидкостей (рис. 21б).

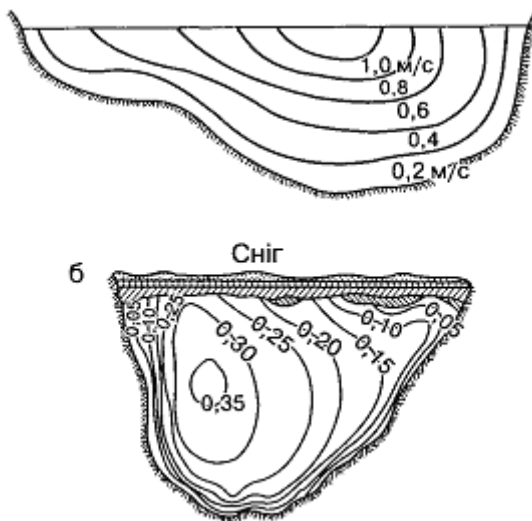


Рис. 21 Ізотахи у відкритому руслі (а) і під льодовим покривом (б)

При відкритому руслі ізотахи мають вигляд незамкнених ліній. Найбільші швидкості мають місце на поверхні по середині потоку. При наближенні до берегів та дна швидкості зменшуються. При наявності льодового покриву частина ізотак замкнена, а найбільша швидкість знаходиться ближче до середини потоку.

#### 4.3. Методи вимірювання швидкостей течії води

Розглянемо основні методи вимірювання швидкостей течії води, які можуть бути використані в гідрометричних роботах.

Метод, що ґрунтується на реєстрації відстані, яку проходить тіло разом з водою за якийсь проміжок часу. Прилади, що використовуються при цьому називають гідрометричними поплавками.

Метод, що ґрунтується на реєстрації числа обертів лопатевого гвинта. Прилади, що використовуються при цьому називають гідрометричними млинками.



Метод, що ґрунтується на реєстрації величини швидкісного напору. Прилади, що використовуються при цьому називаються гідрометричними трубками.

Метод, що ґрунтується на вимірюванні об'єму води, що заповнює прилад за період спостереження. Прилади, що використовуються при цьому називаються батометрами.

#### 4.4. Вимірювання швидкостей течії води гідрометричними поплавками.

При застосуванні цього методу приймається, що швидкість руху поплавок дорівнює швидкості течії води в місці знаходження поплавок. Швидкість  $u$  визначається за формулою

$$u = \frac{L}{t}, \text{ м/с}$$

де  $L$ - відстань, що проходить поплавок за час  $t$ .

Гідрометричні поплавки поділяють на поверхневі, глибинні та поплавки - інтегратори.

**Поверхневі поплавки** застосовують для вимірювання швидкостей течії на поверхні потоку. Їх виготовляють звичайно з дерева (кружальця дерева, скріплених навхрест дощок), ненаповнену водою пляшку з яскравим прапорцем тощо (рис. 22).

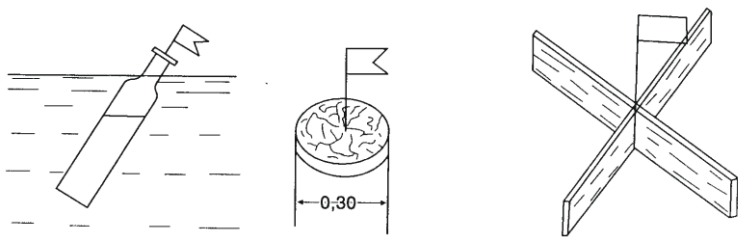


Рис.22 Поверхневі поплавки

Для вимірювання швидкостей течії вибирають ділянки річки довжиною не менше 40 – 50 м. Виміряну швидкість відносять до середини ділянки в місці перетину поперечного створу поплавком. *Глибинні поплавки* складаються із з'єднаних тонким шнуром

поверхнього поплавка і нижнього, власне глибинного, зануреного на глибину  $h$  (рис. 23).

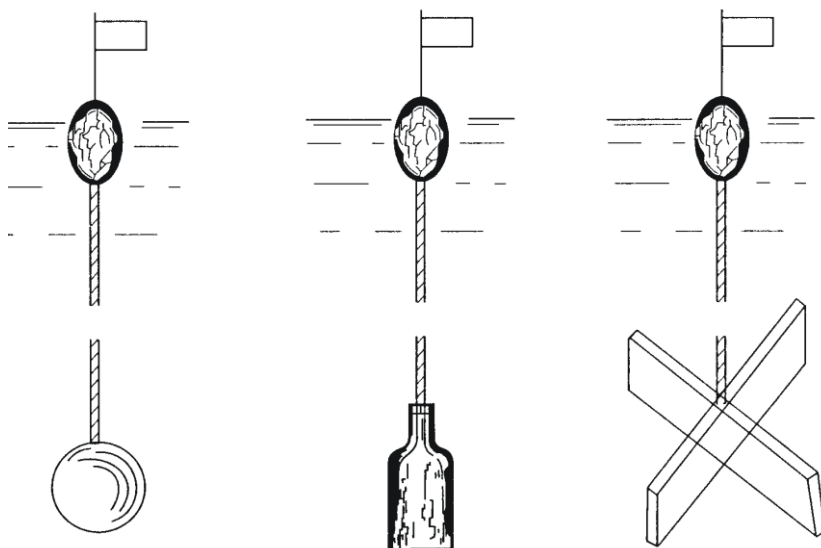


Рис. 23 Глибинні поплавки

Верхній поплавок значно менший за нижній і лише показує місце розташування глибинного. Таким чином вимірюється швидкість течії на глибині  $h$  занурення нижнього поплавка.

**Поплавки-інтегратори** використовують для вимірювання середньої швидкості на вертикалі. Як полавки-інтегратори використовують дерев'яні, целулоїдні або інші легкі кульки діаметром 3-4 см з невеликим кільцем, кульку прикріплюють ниткою до штанги. Потім штангу кулькою ставлять на дно на даній вертикалі. Коли нитку обривають, то кулька випливає на поверхню води (рис. 24)

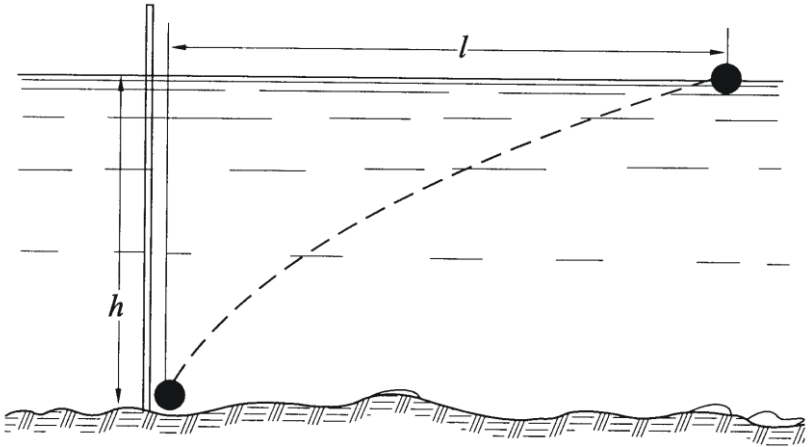


Рис. 24. Поплавок-інтегратор

Для вимірювання швидкості течії необхідно визначити відстань від даної вертикалі до точки появи поплавка на поверхні води  $l$  і час впливання поплавка  $t$ . Тоді середня швидкість течії на вертикалі дорівнюватиме

$$u_{\text{сеп}} = \frac{l}{t}, \text{ м}^2/\text{с}$$

Поплавки - інтегратори застосовують при малих (до 0.2 м/с) швидкостях течії води.

**Гідрометричні жердини** використовують для вимірювання середньої на вертикалі швидкості течії води по лінії руху приладу. Жердина повинна бути занурена на  $0.94h$  глибини річки. Користуються гідрометричними жердинами лише на річках з рівним дном, без виступів, валунів і рослинності.

#### 4.5. Гідрометричні млинки

*Гідрометричні млинки* є найбільш поширеними приладами для вимірювання швидкостей течії води.

Існує велика кількість різних типів і конструкцій гідрометричних млиноків. Вони відрізняються за напрямом осі обертання, будовою лопатевого гвинта або ротора та за будовою

контактного і лічильного механізмів і способом занурення млинка у воду.

За напрямом осі обертання розрізняють млинки з горизонтальною та вертикальною осями. До перших відносять млинки Ж-3, ГР-21, ГР-21М, ГР-55 (малогабаритні), ГР-11, ВБ-52, ВБ-61 та інші, до других – млинки типа Прайса, САНДІРІ та ін. (рис. 25)

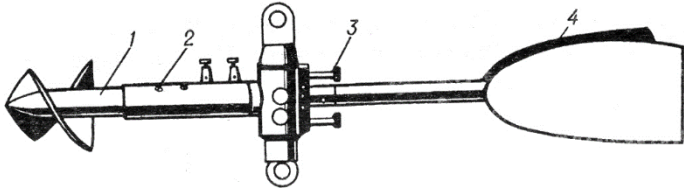


Рис. 25 Гідрометрична вертушка ГР-55:

1- ходова частина; 2 – корпус; 3 – затискні гвинти; 4 – хвостове оперення

Гідрометричні млинки складаються з таких основних частин: ходової частини з лопатевим гвинтом і контактним механізмом, корпусу, стабілізатора напрямку і сигнального пристрою. За будовою лопатевого гвинта або ротором розрізняють млинки з лопатевим гвинтом, утвореним гвинтовою поверхнею, і ротором, і ротором який складається з конусоподібних часток. За будовою лічильно-контактного механізму розрізняють млинки з механічним лічильником кількості обертів і з електричною сигналізацією. Більшість сучасних млиноків має електричну сигналізацію.

За способом занурення у воду млинки поділяються на штангові (занурюють на штанзі); тросові (занурюють на тросі). Більшість сучасних річкових млиноків є універсальними, тобто їх можна занурювати на штанзі і на тросі, в останньому випадку використовують вертлюг.

Контактний механізм представляє собою черв'ячну шестерню з двадцятьма зубцями і контактним штифтом. Проти одного із зубців є напайка. Коли контактний штифт доторкується до цієї напайки (через 20 обертів лопатевого гвинта) електричне коло замикається і отримують електричний сигнал за допомогою електричної лампочки або дзвінка.

При виміру швидкості млинком використовують залежність між числом обертів лопатевого гвинта (або ротора) за секунду і швидкістю. Для ідеальних умов (відсутність тертя в механізмі млинка і в'язкості рідини) ця залежність виражається рівнянням

$$u = k_{\Gamma} n, \quad (5)$$

де  $u$  – швидкість течії води;  $n$  – число обертів лопатевого гвинта за секунду;  $k_{\Gamma}$  – геометричний крок лопатевого гвинта (шлях що його пройде млинок, коли лопатевий гвинт зробить один оберт). Більш точно цю залежність можна записати у вигляді напівемпіричного рівняння

$$u = an + \sqrt{bn^2 + c^2}, \quad (6)$$

При  $n = 0$   $u = \sqrt{c} = u_0$ , де  $u_0$  – початкова швидкість млинка, рівняння (6) можна записати у вигляді

$$u = an + \sqrt{bn^2 + u_0^2}, \quad (7)$$

де  $a$  і  $b$  параметри млинка.

Як видно з формули (7), рівняння млинка складається з двох частин: рівняння прямої лінії та рівняння параболи. Тобто при малих швидкостях течії води має місце криволінійна залежність між числом обертів за одиницю часу і швидкістю, а при великих – прямолінійна.

Початкова швидкість  $u_0$  – це найменша швидкість при якій лопатевий гвинт починає обертатися, тобто найменша швидкість течії, що її можна виміряти млинком. Для більшості млиноків  $u_0 = 0.03 \div 0.06$  м/с. Верхня межа швидкості, що її можна виміряти млинком, чітко не визначена.

### ***Тарування гідрометричних млиноків***

Під таруванням млинка розуміють встановлення залежності між швидкістю течії води і кількістю обертів робочого колеса за 1 секунду.

Для тарування млиноків використовують прямолінійні тарувальні басейни (кожна завдовжки 80 м, завширшки 2 м і глибиною 2 м), кругові тарувальні басейни і тарувальні лотки В.Уриваєва. Тарування проводять у стоячій воді, де млинки

буксирують з різними швидкостями. Для кожної швидкості визначають число обертів робочого колеса за 1 секунду і на основі цих даних будують тарувальну криву млинка (рис. 26), яка є його своєрідним паспортом.

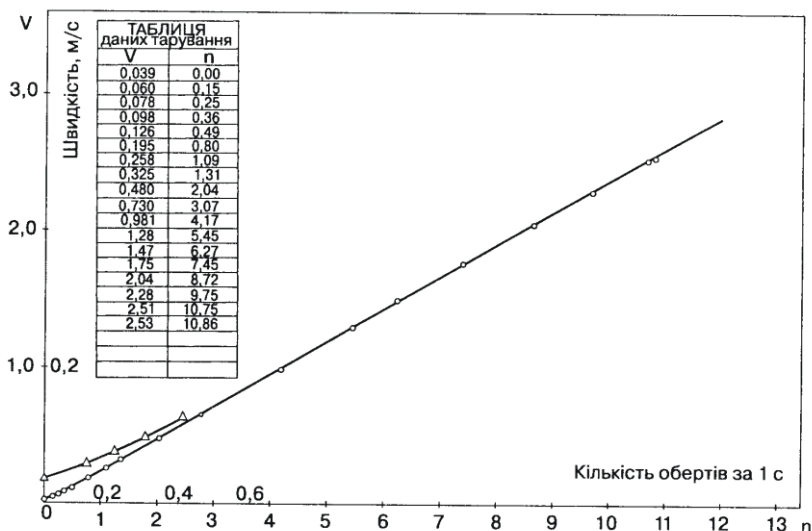


Рис. 26 Тарувальна крива млинка

Млинки тарують зразу ж після їх виготовлення та в процесі їх експлуатації: через два роки, якщо млинок з мастильною камерою; без мастильної камери – через один рік. У разі пошкодження млинка його слід відремонтувати та протарувати.

#### 4.6. Гідрометричні трубки

Вимірювання швидкостей течії гідрометричними трубками ґрунтується на реєстрації висоти швидкісного напору. Для визначення залежності між швидкістю течії і висотою швидкісного напору застосовують рівняння Д. Бернуллі (рис. 27)

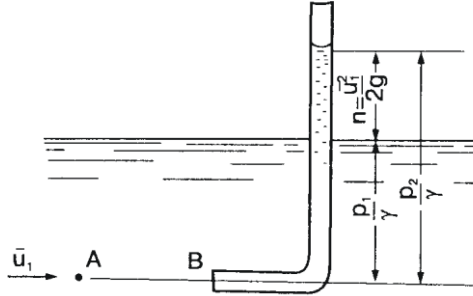


Рис. 27 Схема гідрометричної трубки

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}, \quad (8)$$

де  $Z_1$  і  $Z_2$  - висота положення точок А і В (рис. 27) однакова для обох точок і надалі її не враховують;  $P_1$  - тиск у точці А, що визначається глибиною занурення цієї точки;  $u_1$  - місцева швидкість у точці А;  $P_2$  - тиск у точці В, що визначається висотою стовпа води у трубці;  $u_2$  - швидкість у точці В, величина якої дорівнює нулю;  $\gamma$  - густина води.

З наведеного рівняння одержуємо висоту підйому води в трубці (або висоту швидкісного напору)

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{u_1^2}{2g} = h, \quad (9)$$

звідки отримаємо формулу для визначення швидкості

$$u_1 = \sqrt{2gh}. \quad (10)$$

Ця формула справедлива для ідеальної рідини. Для реальних умов рівняння (10) матиме вигляд

$$u = \varphi \sqrt{2gh}, \quad (11)$$

де  $\varphi$  - поправочний коефіцієнт величина якого встановлюється таруванням. Гідрометричні трубки широко використовують для вимірювання швидкості течії в лабораторних умовах.

## 4.7. Батометри – тахіметри

Батометри – тахіметри застосовують для вимірювання швидкості течії та забору води на мутність. Для вимірювання швидкості барометр – тахіметр тарують, тобто визначають залежність між швидкістю течії і об'ємом води, яка потрапляє в тахометр за 1 секунду. На рис. 28. представлений найбільш поширений у практиці гідрометричних робіт батометр – тахіметр В.Г.Глушкова.

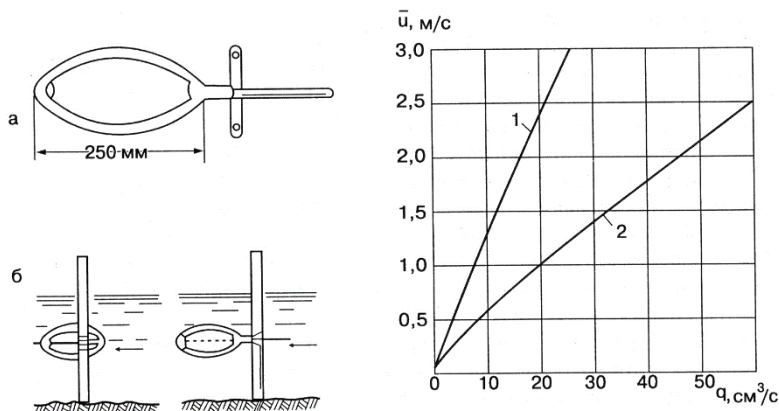


Рис. 28 Батометр – тахіметр (а – з наконечником; б – без наконечника) і його тарувальна крива (1 – без наконечника; 2 – з наконечником)

### Питання для самоконтролю

1. Що таке годограф.
2. Як називають лінії однакових швидкостей.
3. Намалуйте розподіл швидкостей по поперечному перерізу.
4. Якими приладами можна виміряти швидкість течії річки.
5. Яку швидкість показує поплавко-інтегратор.
6. Які складові частини гідрометричного млинка.
7. Які є методи вимірювання швидкостей гідрометричними млинками.
8. Які види тарування ви знаєте.
9. Принцип дії гідрометричної трубки.



## Тема 5. Витрати води

- 5.1. Метод «швидкість - площа». Модель витрати
- 5.2. Вибір ділянки річки для вимірювання витрат води і визначення напрямку гідрометричного створу
- 5.3. Вимірювання швидкостей гідрометричними млинками
- 5.4. Вимірювання витрат води поверхневими поплавками.
- 5.5. Обчислення витрат води
- 5.6. Визначення витрат води, вимірних поплавками
- 5.7. Визначення витрат води за площею живого перерізу і середньою швидкістю потоку
- 5.8. Визначення витрат води способом змішування

Витратою води називається кількість (об'єм) води, що протікає через поперечний переріз русла за одиницю часу. Для великих водотоків витрата виражається в м<sup>3</sup>/с, а для малих в л/с. Витрата води є однією з основних характеристик річки, що визначає інші її елементи – рівень води, швидкість течії, похил водної поверхні, кількість наносів тощо. Існуючі методи визначення витрати води можна розділити на дві групи: безпосереднє вимірювання і опосередковане визначення. До першої групи належить так званий об'ємний метод, за якого витрата вимірюється за допомогою мірних посудин з фіксацією часу їхнього наповнення. При використанні методів другої групи вимірюється не сама витрата, а окремі елементи потоку. До таких методів належать:

1. визначення витрати за вимірними швидкостями течії і площею поперечного перерізу річки, який скорочено називається методом «швидкість - площа»;

2. визначення витрат за допомогою мірних пристроїв: гідрометричних лотків, водозливів. В даному випадку вимірюють напір на водозливу або на вхідній частині лотка, а витрату обчислюють за гідравлічними залежностями;

3. метод змішування, який має кілька різновидів – електролітичний, тепловий, калориметричний. На практиці застосовують в основному електролітичний метод, за якого витрата води визначається в залежності від зміни електропровідності введеного у потік розчину електроліту при змішуванні його з водною масою.

### 5.1. Метод «швидкість - площа». Модель витрати

Суть метода «швидкість - площа» полягає у визначенні об'єму моделі витрати, тобто водяного тіла об'ємом, що дорівнює витраті води через поперечний переріз потоку. Розглянемо поперечний переріз потоку (рис. 29).

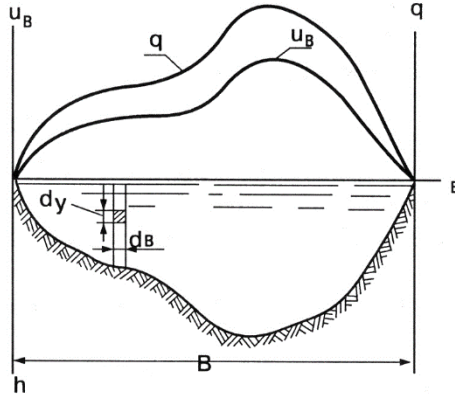


Рис. 29 Поперечний переріз потоку

Виділимо на ньому елементарну площадку. Витрату води через цю площадку, з урахуванням того, що вектор місцевої швидкості може бути направлений під кутом до нормалі, виразимо залежністю

$$dQ = u \cos \alpha d\omega, \quad (12)$$

де  $u$  – швидкість в межах елементарної площадки,  $\alpha$  – кут між напрямком швидкості і нормаллю,  $d\omega$  – величина елементарної площадки.]

Витрата води через всю площу поперечного перерізу становитиме

$$Q = \iint u \cos \alpha d\omega = \iint u \cos \alpha dx dy. \quad (13)$$

Якби кут  $\alpha$  зберігав своє значення для всіх елементарних площадок, то вираз ( ) можна було б записати

$$Q = \cos \alpha \iint u dx dy. \quad (14)$$

Якщо на всіх елементарних площадках вектор швидкості направлений до нормалі, то

$$Q = \iint u dx dy = \int u d\omega. \quad (15)$$

Отримана формула виражає об'єм моделі витрати води, що зображено на рис. 30.

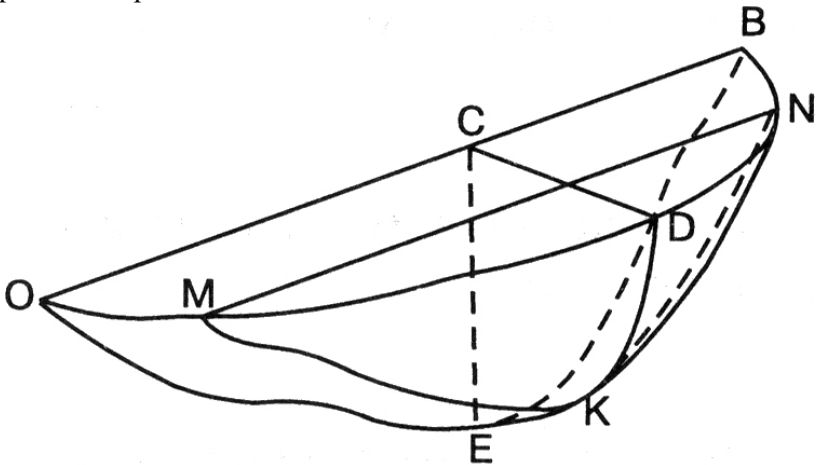


Рис. 30. Модель витрати:

OEB – живий переріз; OMDNB – епіюра поверхневих швидкостей;  
CDE – епіюра швидкостей на вертикалі; MKN – ізотаха

Ця фігура обмежена ззаду поперечним перерізом потоку, зверху – поверхнею, що представляє собою епіюру поверхневих швидкостей потоку, і знизу – криволінійною поверхнею, що визначається залежністю  $u = f(xy)$ . Для безпосереднього визначення витрати води треба виміряти кінематичні і геометричні елементи потоку (швидкість течії та площу поперечного перерізу потоку). При цьому застосовують аналітичний та графічний методи розрахунку.

Розглянемо деякі властивості вибраної моделі. Якщо модель витрати перетнути площинами паралельними поверхні води, то площадки перерізів представлятимуть собою епіюру розподілу швидкостей течії по ширині річки на відповідній глибині.

Якщо модель витрати перетнути вертикальними площинами, перпендикулярними до площини живого перерізу, то площадки перерізу будуть представляти собою епіюри розподілу швидкостей по вертикалі.

Якщо модель витрати перетнути вертикальними площинами, паралельними до площини живого перерізу, то лінії перетину будуть представляти собою лінії рівних швидкостей, тобто ізотахи.

## **5.2. Вибір ділянки річки для вимірювання витрат води і визначення напрямку гідрометричного створу**

Ділянка річки, вибрана для вимірювання витрат води, повинна бути прямою, без приток і стариць та знаходитися за межами поширення підпору від приток та гідротехнічних споруд. На вибраній ділянці Рух води повинен бути рівномірним і мати загальний напрямок по всій ширині річки. Швидкість течії у межень мають бути не меншими  $0,15 \div 0,20$  м/с, а перевищення  $3,0 \div 4,0$  м/с. На вибраній ділянці намічають і закріплюють гідрометричний створ. *Гідрометричним створом* називається поперечник через річку, на якому вимірюють витрати води і наносів. Гідрометричний створ назначається перпендикулярно до середнього напрямку течії на прямолінійній ділянці і повинен задовільняти ряду вимог, а саме, знаходитися за межами впливу підпору від днища розташованих гідротехнічних споруд, відсутність інтенсивного розмиву русла та значної рослинності. Якщо гідрометричний створ віддалений від основного водомірного поста, то необхідно влаштувати водомірний пост при гідрометричному створі. За нуль графіка цього поста бажано прийняти ту ж відмітку, що і на основному водомірному посту.

В експедиційних умовах гідрометричний створ розбивають на око перпендикулярно до загального напрямку течії річки, орієнтуючись на напрямок берегів. Напрямок створу, призначеного для систематичних вимірювань встановлюють більш точно за допомогою гідрометричних млинків та поверхневих поплавків.

Розглянемо вибір гідрометричного створу за допомогою поверхневих поплавків. Для цього на вибраній ділянці розбивають три - п'ять допоміжних створів на віддалі в межах  $0,5 \div 2,0$  ширини річки. Віддаль від верхнім і нижнім створами (рис. 31) ретельно заміряють мірною стрічкою.

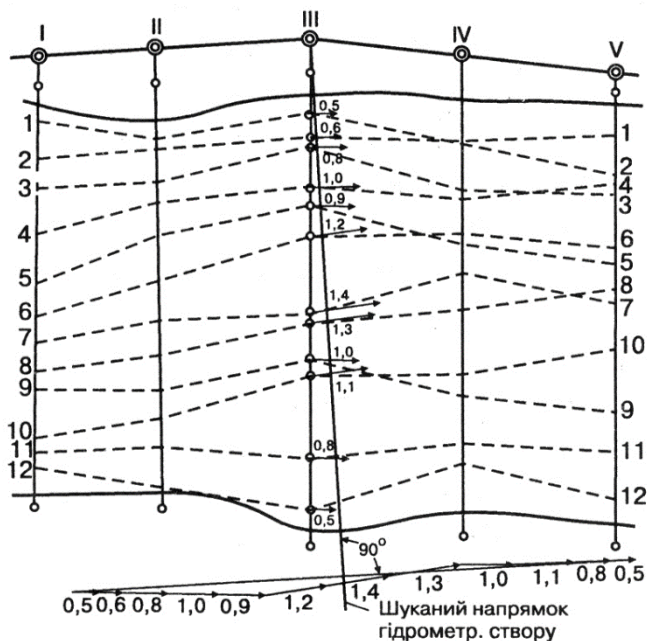


Рис.31 Схема визначення напрямку гідрометричного створу поплавками

На березі встановлюють мензулу так, щоб із її стоянки було добре видно поверхню річки на всій ділянці. На пусковому створі, який обладнують на 5-10 м вище від першого створу, пускають 10-15 поплавків рівномірно по ширині річки. Далі засікають місця перетину поплавками всіх створів і визначають тривалість ходу кожного поплавка від верхнього до нижнього створу за допомогою секундоміра. Для кожного поплавка обчислюють швидкість його руху за формулою

$$u = \frac{l}{t}, \text{ м/с}$$

де  $l$  – відстань між верхнім і нижнім створами;  $t$  – тривалість ходу поплавка від верхнього до нижнього створу.

На планшеті будують траєкторію руху кожного поплавка. На лінії середнього створу, в точках перетину його поплавками, відкладають у вибраному масштабі вектори швидкостей кожного

поплавка як дотичні до траєкторії його руху. Починаючи з довільної точки будують векторну діаграму і визначають результуючий вектор, який і буде середнім напрямком поверхневої течії води на даній ділянці. Перпендикуляр до результуючого вектора приймається за напрямок шуканого гідрометричного створа.

Після закріплення гідрометричний створ устатковується такими пристроями і обладнанням:

- 1) створним водомірним постом, якщо основний водомірний пост розташований далеко;
- 2) реперними і створними віхами;
- 3) обладнанням для закріплення швидкісних вертикалей;
- 4) обладнанням і пристроями для виконання промірних робіт і вимірювання швидкостей;
- 5) водомірними постами для вимірювання похилу водної поверхні.

### 5.3. Вимірювання швидкостей гідрометричними млинками

При вимірюванні швидкостей гідрометричними млинками, за даними вимірювання глибин в гідрометричному створі, слід намітити швидкісні вертикалі в залежності від ширини річки і способу вимірювання витрат води. Існує три способи: **детальний, основний і скорочений**. При детальному способі швидкісні вертикалі розташовують рівномірно по ширині річки, при близня через відстань  $b = (0,07 \div 0,10)B$ , де  $B$  – ширина річки. На кожній вертикалі при відсутності льодового покриву швидкості вимірюються в п'яти точках: біля поверхні, на  $0,2h$ ;  $0,6h$ ;  $0,8h$  і біля дна, де  $h$  – робоча глибина на вертикалі. При наявності льодового покриву додається шоста точка на глибині  $0,4h$ . При основному способі швидкісні вертикалі скорочуються (але не менше п'яти), а швидкості вимірюють в двох точках на вертикалі:  $0,2h$  і  $0,8h$ , а при глибині менше  $0,5$  м - в одній точці  $0,6h$ . При скороченому способі швидкості вимірюються в одній

( $0,6h$ ) або в двох точках ( $0,2h$ ;  $0,8h$ ), а кількість швидкісних вертикалей значно скорочується. Їх кількість встановлюють на основі аналізу витрат, виміряних детальним і основним способами.

В кожній точці тривалість вимірювання повинна бути не менш як  $100$  с, а кількість прийомів (від сигналу до сигналу)

повинна бути парною. Різниця між тривалістю першої половини вимірювання і другої половини повинна відрізнятись більш як на 5 с, в протилежному випадку вимірювання треба продовжити.

#### 5.4. Вимірювання витрат води поверхневими поплавками.

Вимірювання витрат води поверхневими поплавками проводять в разі відсутності гідрометричних млиноків, або коли їх використання неможливе, наприклад при льодоході. Для виміру витрат води вище і нижче гідрометричного створу розбивають два додаткові створи з таким розрахунком, щоб тривалість ходу поплавків між ними була не менше 20 с. Для запуску поплавків в 5-10м вище верхнього створу, розбивають пусковий створ. Усі створи закріплюють віхами. На березі паралельно течії розбивають магістраль (базис) (рис.32).

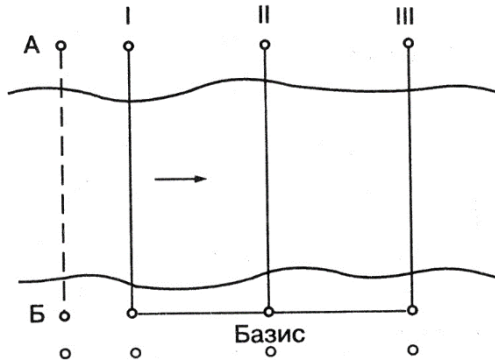


Рис. 32. Розташування створів для вимірювання витрат води поплавками: I – верхній створ; II – середній створ; III – нижній створ; АБ – пусковий створ

На основному створі при довжині річки до 100м для визначення відстані проходження поплавків від магістралі натягують розмічений трос. На більш широких річках положення поверхневих поплавків визначають за допомогою кутомірних інструментів.

## 5.5. Обчислення витрат води

### *Обчислення витрат води, виміряних гідрометричним млинком*

При вимірювання швидкостей гідрометричними млинками витрата води може бути обчислена аналітичним, графоаналітичним та графомеханічним способами.

Розглянемо аналітичний та графомеханічний способи.

**Аналітичний спосіб.** Витрату води обчислюють за формулою

$$Q = kV_1\omega_0 + \frac{V_1 + V_2}{2}\omega_1 + \dots + \frac{V_{n-1} + V_n}{2}\omega_{n-1} + kV_n\omega_n, \quad (16)$$

де  $Q$  – витрата води;  $V_1, V_2, \dots, V_n$  – середні швидкості на відповідних вертикалях;  $\omega_0$  – площа живого перерізу між берегом (межею мертвого простору) і першою швидкісною вертикаллю;  $\omega_1, \omega_2, \dots$  – площі поперечного перерізу між суміжними вертикалями;  $\omega_n$  – площа поперечного перерізу між останньою швидкісною вертикаллю і берегом;  $k$  – коефіцієнт, величина якого залежить від характеру берега, а саме: при пологому березі з нульовою глибиною на урізі  $k = 0,7$ ; при обривистому березі або не рівній стінці  $k = 0,8$ ; при гладкій стінці  $k = 0,9$  і за наявності мертвого простору  $k = 0,5$ .

В залежності від кількості точок вимірювань та стану русла, середню швидкість на вертикалі визначають за такими формулами.

1) для відкритого русла і за відсутності водної рослинності:

а) при вимірюванні швидкості десяти точок на вертикалі

$$V_B = 0,1(u_{нов} + u_{0,2} + u_{0,3} + \dots + u_{0,9} + u_{дно});$$

б) при вимірюванні швидкостей в п'яти точках на вертикалі

$$V_B = 0,050u_{нов} + 0,347(u_{0,2} + u_{0,6}) + 0,173u_{0,8} + 0,083u_{дно};$$

в) при вимірюванні швидкості двох точок на вертикалі

$$V_B = 0,5(u_{0,2} + u_{0,8});$$

г) при вимірюванні швидкостей в одній точці на вертикалі

$$V_B = u_{0,6}.$$

При вимірюванні витрати води в руслі з водною рослинністю або за наявності льодового покриву:

а) при вимірюванні швидкості в шести точках на вертикалі

$$V_B = 0,1(u_{нов} + 2u_{0,2} + 2u_{0,6} + 2u_{0,8} + u_{дно});$$



б) при вимірюванні швидкості в трьох точках на вертикалі

$$V_B = 0.33(u_{0.15} + u_{0.50} + u_{0.85});$$

в) при вимірюванні швидкості в одній точці на вертикалі

$$V_B = 0.9u_{0.5}.$$

У наведених формулах індекси 0,2; 0,4 та ін. Означають відносне за глибиною положення точок вимірювань швидкостей на вертикалі, рахуючи від поверхні води.

Часткові площі між швидкісними вертикалями обчислюють за простими геометричними фігурами – трикутниками та трапеціями. Кожний доданок формули ( 16 ) представляє часткову витрату між швидкісними вертикалями. Повну витрату підраховують як суму часткових витрат води.

**Графічний спосіб** обчислення витрат води застосовують при вимірюванні швидкостей детальним способом і ведуть в такий послідовності (рис. 33):

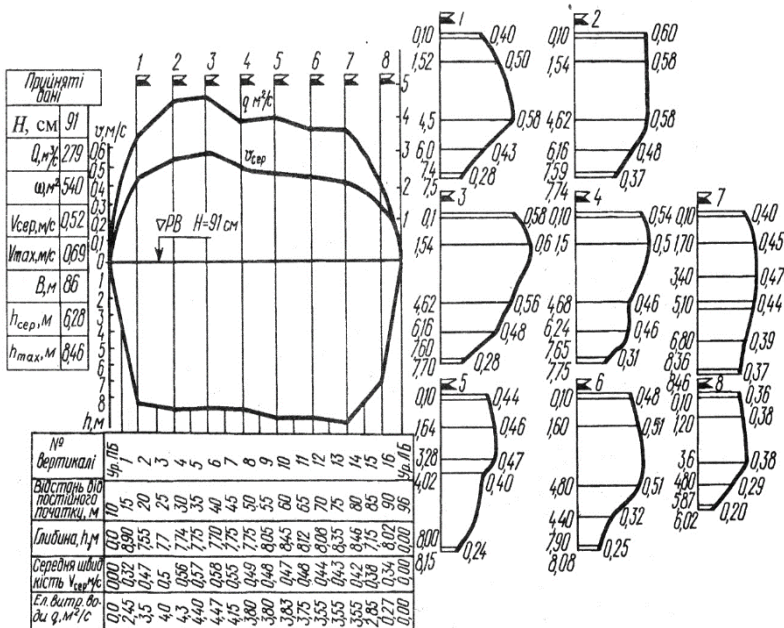


Рис.33. Обчислення витрати води графічним способом

1. На аркуші міліметрового паперу будують профіль поперечного перерізу річки і наносять розрахунковий рівень води.

2. На тому ж аркуші креслять епюри швидкостей для кожної швидкісної вертикалі.

3. Обчислюють середні швидкості на вертикалях діленням площі епюри швидкостей на робочу глибину вертикалі; площу епюру визначають планіметром або палеткою.

4. Будують над профілем епюру середніх швидкостей, з якої знімають значення середніх швидкостей для кожної промірної вертикалі.

5. Обчислюють елементарні витрати для всіх вертикалей. Для цього значення середніх швидкостей множать на глибину і отримані дані заносять у відповідний рядок під профілем.

6. Будують епюру елементарних витрат. Для цього значення елементарних витрат відкладають вгору від рівня води на профілі на кожній вертикалі і по одержаних точках проводять плавну лінію.

7. Обчислюють витрату води, для чого визначають площу епюри елементарних витрат планіметром або палеткою.

Після обчислення витрат на кресленні складають таблицю прийнятих даних.

## **5.6. Визначення витрат води, виміряних поплавками**

Вимірювання швидкостей течії води поплавками проводять лише тоді, коли немає вітру. Для цього вище і нижче гідрометричного створу на рівних відстанях розбивають два допоміжних створи, відстань між якими встановлюють таку, щоб тривалість ходу поплавок між ними була не менша 20с.

В 5-10м вище верхнього створу розбивають пусковий створ (рис. 2.72). Всього по ширині річки пускають послідовно 15-30 поплавків з таким розрахунком, щоб середній створ вони проходили групами по два-чотири. Тривалість руху поплавків між створами фіксують секундоміром. Точку перетину поплавками гідрометричного створу визначають по розміченому тросі (при ширині річки до 100м) або за допомогою кутомірних інструментів.

Обчислення виміряних поплавками витрат виконують у такій послідовності.

1. Обчислюються площі живого перерізу на основному створі.

2. На сітку, наведену у книжці для запису вимірювань витрат води поплавками, наносять точки поплавків. Через нанесені точки (або центра груп точок) проводять епюру розподілу тривалості ходу поплавків по ширині річки (рис. 34).

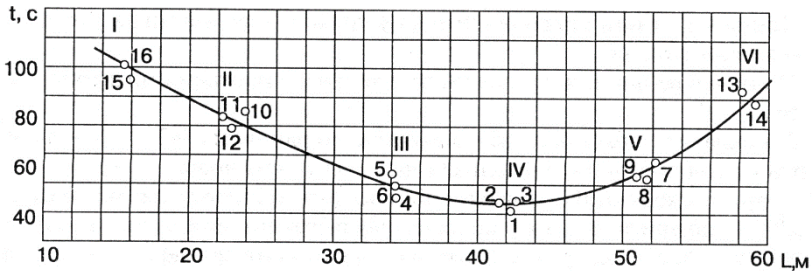


Рис. 34 Епюра тривалості ходу поплавків:

1, 2, ..., 16 – номери поплавків; I, II, ..., VI – групи поплавків;  $t$  – тривалість ходу поплавків;  $L$  – відстань від постійного початку до місця перетину поплавком основного створу

3. Через рівні відстані назначають швидкісні вертикалі, для кожної з яких з епюри встановлюють тривалість ходу поплавка та обчислюють поверхневу швидкість течії  $V = \frac{l}{t}$ , де  $l$  – відстань між верхнім і нижнім створами;  $t$  – тривалість ходу поплавка.

4. Обчислюють фіктивну витрату за формулою

$$Q_{\phi} = kV_1\omega_0 + \frac{V_1 + V_2}{2} \omega_1 + \dots + \frac{V_{n-1} + V_n}{2} \omega_{n-1} + kV_n\omega_n, \quad (17)$$

де  $V_i$  – поверхневі швидкості на швидкісних вертикалях;  $\omega_i$  – площа живого перерізу між швидкісними вертикалями;  $k$  – коефіцієнт що враховує характер берега і глибину на його урізі (див. п ...).

Дійсну витрату води обчислюють за формулою

$$Q = Q_{\phi} k_i, \quad (18)$$

де  $k_i$  – перехідний коефіцієнт від фіктивної витрати до дійсної.

Величину перехідного коефіцієнта визначають при одночасному вимірюванні витрат води гідрометричним млинком і поплавками за відношенням

$$k_i = \frac{Q_\delta}{Q_\phi}, \quad (19)$$

де  $Q_\delta$  - витрата води, виміряна гідрометричним млинком;  $Q_\phi$  - витрата виміряна поплавками.

Для наближеного визначення коефіцієнта  $k_i$  можна користуватися емпіричними формулами, зокрема

$$k_i = 1 - 1.85 \sqrt{\frac{I}{F_r}}, \quad (20)$$

де  $I$  - поздовжній похил водної поверхні;  $F_r$  - число Фруда, яке визначається за формулою

$$F_r = \frac{V_{сер.пов}^2}{gh_{сер}}, \quad (21)$$

де  $V_{сер.пов}$  - середня поверхнева швидкість;  $g$  - прискорення вільного падіння, 9,81 м/сек<sup>2</sup>;  $h_{сер}$  - середня глибина у живому перерізі, м.

Середню поверхневу швидкість визначають за виразом  $V_{сер.пов} = Q_\phi / \omega$ , а середню глибину у живому перерізі -  $h_{сер} = \omega / B$ , де  $\omega$  - площа живого перерізу,  $B$  - ширина річки.

Для визначення коефіцієнта  $k_i$  можна використовувати формули Г. В. Железнякова і Ф. Карасьова, які відповідно мають вигляд

$$k_i = 0.61(c^*)^{0.125}, \quad (22)$$

$$k_i = 0.77 + 0.043\sqrt{c^* - 3.8}. \quad (23)$$

При цьому

$$c^* = c / \sqrt{g},$$

де  $c$  – коефіцієнт Шезі;  $g$  – прискорення вільного падіння.

### 5.7. Визначення витрат води за площею живого перерізу і середньою швидкістю потоку

Витрату обчислюють за формулою

$$Q = \omega V, \quad (24)$$

де  $\omega$  – площа поперечного перерізу, яку визначають за наявним поперечним профілем русла,  $m^2$ ;  $V$  – середня швидкість течії річки, яку обчислюють за формулою Шезі,  $m/сек$ .

Формула Шезі має вигляд

$$V = c\sqrt{RI}, \quad (25)$$

де  $c$  – коефіцієнт Шезі,  $m^{0.5}/c$ ;  $R$  – гідравлічний радіус,  $m$ ;  $I$  – похил водної поверхні.

Похил водної поверхні визначають нівелюванням. При розрахунках максимальних витрат води помітках високих вод, що зашилися на берегах, похил одержують нівелюванням цих міток.

Коефіцієнт Шезі визначають за емпіричними формулами, наприклад за формулою М. М. Павловського

$$c = \frac{1}{n} R^y, \quad (26)$$

де  $n$  – коефіцієнт шорсткості, який визначають за таблицею М. Ф. Срібного залежно від характеристики русла та заплави [ ];  $R$  – гідравлічний радіус;  $y$  – показник степеня, який визначають за формулою М. М. Павловського

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.10). \quad (27)$$

Для наближеного обчислення можна користуватися формулами

$$\begin{aligned} y &= 1.5\sqrt{n} && \text{при } R < 1m \\ y &= 1.3\sqrt{n} && \text{при } R > 1m \end{aligned}$$

### **Питання для самоконтролю**

1. Що таке витрата води.
2. Суть метода «швидкість - площа».
3. Що таке гідрометричний створ.
4. Як визначити напрямок течії в гідрометричному створі.
5. Принцип вимірюванні швидкостей гідрометричними млинками.
6. За якою формулою обчислюють витрату води виміряну гідрометричними млинками.
7. В чому полягає графічний метод обчислення витрат води.
8. Аналітичний метод вимірювання витрат.
9. Визначення витрат води виміряних поплавками.
10. Що таке швидкісна вертикаль.

## Тема 6. Криві витрат води

- 6.1. Побудова кривої води при однозначній залежності між витратою і рівнем води
- 6.2. Екстраполяція кривої витрат води.
- 6.3. Екстраполяція кривих витрат до мінімального рівня.
- 6.4. Побудова кривої витрат і обчислення стоку води за відсутності однозначної залежності між витратами і рівнями води.

### 6.1. Побудова кривої води при однозначній залежності між витратою і рівнем води

Між витратою води в річці та рівнем існує певна гідравлічна залежність. Графічний її вираз називається кривою витрат води.

Кривою витрат води називається графік залежності для даного перерізу річкового русла між рівнем і витратою води. Найпростіший вигляд залежності має у разі рівномірного руху води у сталому руслі з постійною формою поперечного перерізу. У такому випадку має місце однозначна залежність між рівнем і витратою води тобто кожному значенню рівня відповідає лише одне значення витрати води. Часто порушення однозначності кривою  $Q = f(H)$  відбувається під впливом льодових явищ, заростання русла, розмивання і намівання русла. Більш складний вигляд крива  $Q = f(H)$  буде мати і при неусталеному руслі води в річках, який спостерігається при весняних повенях, дощових паводках, попусках води із водосховищ, що розташовані вище від водомірного поста.

Основою для побудови кривої витрат води є виміряні витрати води, профіль по гідрометричному створу, дані, що характеризують режим річки на ділянці гідроствору.

Частота вимірювань витрат води неоднакова у різні сезони року. Частіше вимірюють витрати води під час повеней. 4-5 разів на підйомі і 5-8 – на спаді. В межень витрати води вимірюють через 7-10 діб, при дощових паводках – 1-2 на підйомі і 2-3 на спаді. При сталому льодоставі витрати води вимірюють через 10-20 діб. Для аналізу кривої витрат води та для її екстраполяції (продовження за межі спостережень) на міліметровий папір наносять значення витрат, площ живого перерізу русла і середніх швидкостей течії води залежно від рівня води (рис. 35.)

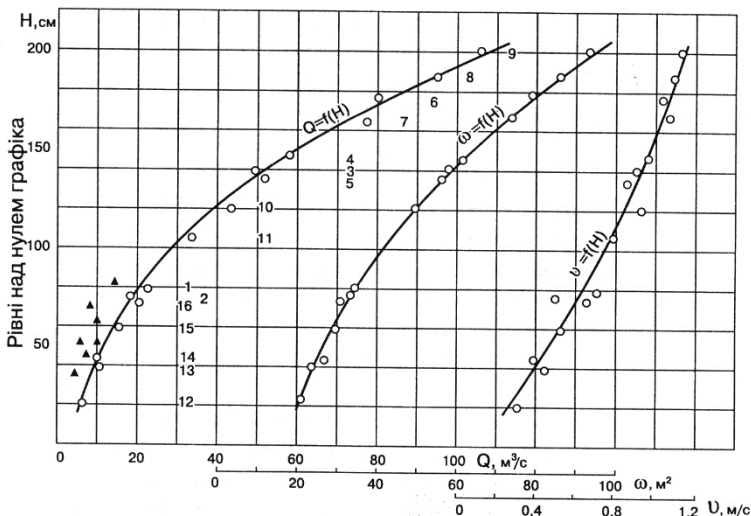


Рис. 35 Криві витрат, площ живого перерізу і середніх швидкостей течії

Розмір паперу і масштаб для кривих вибирають залежно від амплітуди коливання рівнів води, витрат, площ живих перерізів і середніх швидкостей з таким розрахунком, щоб хорда кривої витрат розміщувалась щодо осей координат приблизно під кутом  $45^0$ , а хорди площ і середніх швидкостей – під кутом  $60^0$  до осі абсцис. По осі ординат відкладають рівні, а по осі абсцис - витрати, площі живого перерізу і середні швидкості, причому їхній масштаб буде різний для кожного значення. Після нанесення точок проводять певні лінії. Потім проводять ув'язку кривих (таб.1) за рівнянням

$$Q = u\omega.$$

$$\text{Ув'язування кривих } Q = f(H), \omega = f(H) \text{ і } u_{\text{ср}} = f(H)$$



Таблиця.1

$H$ , см	Значення з кривої			$Q = \omega u_{сер}$	Розходження,
	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$\omega$ , м <sup>2</sup>	$u_{сер}$ , м/с	м <sup>3</sup> /с	%
50	63,6	105	0,60	63,0	Менше1
60	102	125	0,82	102	0
70	132	143	0,95	136	Менше1
і далі					

Для цього через рівні інтервали визначають витрати за вище наведеною формулою і порівнюють їх з витратами знятими з кривої  $Q = f(H)$ . Якщо розходження перевищує 1%, то виявляють причину цього і вносять виправлення (змінюють форму кривих). Для підрахунку середньодобових витрат води складають розрахункову таблицю (табл.2).

Розрахункова таблиця

Таблиця.2

Рівні см	Витрати, м <sup>3</sup> /с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	25,0	25,7	26,4	27,1	27,8	28,5	29,2	29,9	30,6	31,3
30	32,0	32,9	33,8	35,6	35,6	35,5	38,3	38,3	39,2	40,1
40	41,0	42,1	43,2	44,3	45,4	46,5	48,7	48,7	49,8	50,9
50	52,0	і т.д.								

Таблицю складають таким чином: з кривої  $Q = f(H)$  через кожні 10 см рівня знімають значення витрати води. Зняті з кривої значення витрат записують в графу "0" проти відповідних рівнів. Значення витрат промірних рівнів визначають за інтерполяцією і записують у відповідній графі.

Після складання розрахункової таблиці перевіряють відхилення витрат, знятих з кривої  $Q = f(H)$ , від виміряних (за формою табл. 2.16). Якщо середнє відхилення для всіх витрат, які були використані для побудови кривої  $Q = f(H)$ , не перевищує 2-4 %, то криву вважають задовільною.

Перевірка побудови кривої  $Q = f(H)$   
(зіставлення виміряних і знятих із кривої витрат води)

Таблиця 3

№ витрати	Дата вимірювання	Виміряні		$Q_2, \text{ м}^3/\text{с}$ розрахункової таблиці	$\pm \Delta Q = Q_1 - Q_2$	$\pm \Delta Q = \Delta Q : Q \cdot 100$
		$H, \text{ см}$	$Q_1, \text{ м}^3/\text{с}$			
10	18.III	28	30,1	30,6	-0,5	-1,66
11	21.IV	37	40,3	38,3	2,0	4,96
12	26.IV	45	48,4	46,5	1,9	<b>3,97</b>
13	11.V	<b>44</b>	<b>41,9</b>	<b>42,1</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,48</b>
						$\sum \Delta Q \% = 11,07$

Користуючись розрахунковою таблицею і щоденними рівнями води, визначають щоденні витрати води. Таблиці щоденних витрат води публікуються в гідрологічних щорічниках.

## 6.2. Екстраполяція кривої витрат води.

Екстраполяцією кривої витрат води називають продовження її вверх і вниз за межі спостережень. Криву витрат вважають надійною, коли вона обґрунтована виміряними витратами на 80% і більше амплітуди коливання рівнів і екстраполяція вверх не перевищує 15-20%, а вниз – 5% амплітуди рівнів. Екстраполяція кривої до максимального рівня виконується такими основними способами: а) безпосереднім продовженням кривої; б) за елементами витрати; за допомогою формули Шезі. Перший спосіб використовують тоді, коли не обґрунтована виміряними витратами частина кривої витрат не перевищує 10% амплітуди рівнів і профіль

поперечного перерізу річки в межах цієї зони не має різних переломів, а шорсткість русла істотно не змінюється.

Другий спосіб полягає в тому, що екстраполують криву

$$u_{cep} = f(H), \text{ а криву } \omega = f(H) \text{ продовжують до найвищого}$$

рівня за даними обчислення площі живого перерізу, користуючись профілем поперечного перерізу гідрометричного створу. Цей спосіб використовують за тих же умов, що і попередній.

Екстраполяція кривої витрат за допомогою формули Шезі застосовується за наявності надійно вимірних поздовжніх похилів водної поверхні. Суть цього способу полягає в тому, що витрати в частині кривої  $Q = f(H)$  обчислюються як добуток площі живого перерізу, визначеного за профілем створу і середньої швидкості течії, яку визначають за допомогою формули Шезі

$$u_{cep} = c \sqrt{h_{cep} I}, \quad (28)$$

Величину  $h_{cep}$  визначають за профілем створу. Значення похилу  $I$  і коефіцієнта Шезі  $c$  визначають шляхом побудови і екстраполяції кривих  $I = f(H)$  і  $c = f(H)$ . Залежність  $I = f(H)$  будують за даними вимірювань похилів водної поверхні, а потім екстраполують її до найвищого рівня безпосереднім продовженням. Для побудови кривої  $c = f(H)$  за вимірними витратами води обчислюють значення коефіцієнтів Шезі за формулою

$$c = \frac{V}{\sqrt{h_{cep} I}}. \quad (29)$$

Криву  $c = f(H)$  екстраполують безпосереднім продовженням до максимального рівня води (рис.35)

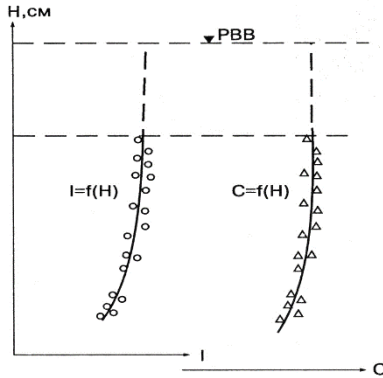


Рис.36 Криві  $I = f(H)$  і  $C = f(H)$  та їхня екстраполяція

### 6.3. Екстраполяція кривих витрат до мінімального рівня.

Екстраполяцію кривих витрат води вниз до мінімального рівня можна виконати двома способами: а) екстраполяція до нульової витрати; б) екстраполяція за елементами витрати.

Перший спосіб використовують тоді, коли відомий рівень нульової витрати. На рис.37 б наведені випадки встановлення відмітки нульової витрати.

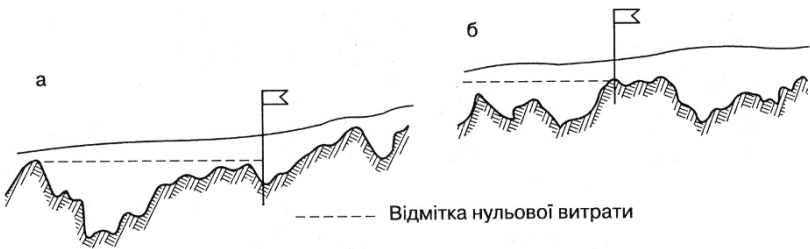


Рис. 37 Визначення відмітки нульової витрати

Для визначення відміток нульової витрати необхідна детальна зйомка ділянки річки в районі гідроствору.

Другий спосіб використовують за неможливості встановити відмітку нульової витрати. У цьому випадку площу перерізу визначають за профілем створу, а середню швидкість знаходять по екстраполяції кривої  $u_{сер} = f(H)$  безпосереднім продовженням.

#### 6.4. Побудова кривої витрат і обчислення стоку води за відсутності однозначної залежності між витратами і рівнями води.

##### 1. Побудова кривої витрат і обчислення стоку при неусталеному русі води

Неусталений рух води в річках спостерігається при повеннях, паводках та пропусках води із водосховищ, розташованих вище від водомірного поста. У зв'язку з різницею похилів на підйомі і спаді паводкової хвилі витрати води на підйомі будуть більші, ніж на спаді, при однакових витратах води. Тому криві  $Q = f(H)$  і  $u = f(H)$  матимуть петлю, а криві  $\omega = f(H)$  матиме звичайний вигляд, оскільки величина живого перерізу від похилу не залежить а залежить лише від висоти рівня води (рис.38).

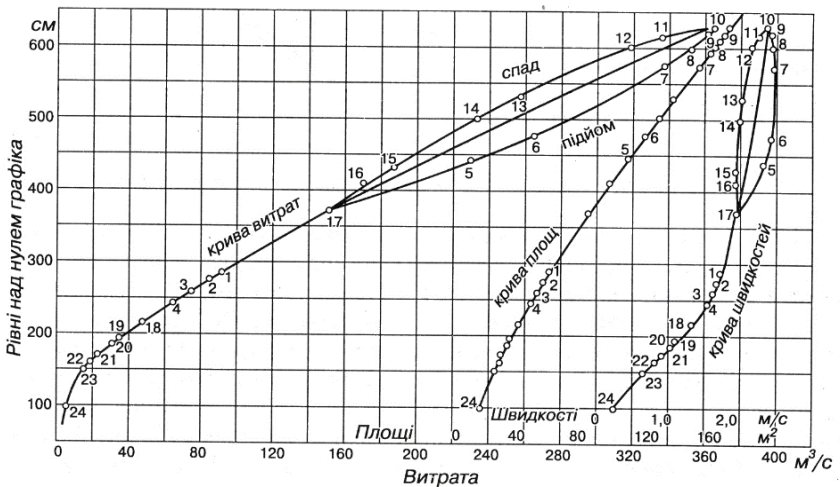


Рис. 38 Крива витрат при неусталеному русі води

Стік води за період паводка обчислюється за кривими підйому і спаду. Витрати визначають за середніми добовими рівнями по тій гілці петлі, яка відповідає даному періоду. Екстраполяція кривих виконується способами, наведеними раніше.

##### 2. Обчислення витрат і стоку води при льодових явищах

Льодові явища порушують гідравлічний режим річки, який був при вільному її стані. При однаковому рівні витрати води під

льодовим покривом менші, ніж у відкритому руслі. Зимові витрати визначають за кривою витрат для відкритого русла  $Q = f(H)$ , але з введенням поправочного коефіцієнта, який являє собою відношення зимової витрати  $Q_3$  до витрати, виміряної при вільному руслі при даному рівні  $Q$ , тобто

$$k_3 = \frac{Q_3}{Q}.$$

Для визначення  $k_3$  будують хронологічний графік  $k_3 = f(T)$ . Для цього для всіх вимірних витрат води при льодових явищах знаходять витрату, яка була б при вільному руслі, і обчислюють  $k_3$ , після чого будують хронологічний графік залежності  $k_3$  від товщини льоду  $T$  (рис. 39).

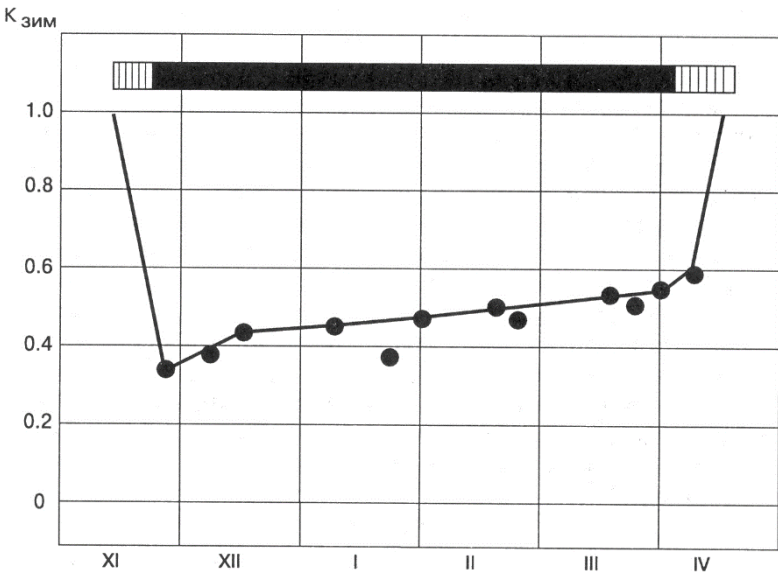


Рис.39 Графік  $K_3 = f(T)$

Щоденні витрати води за зимовий період обчислюють за формулою

$$Q_3 = k_3 Q, \quad (30)$$

де  $Q_3$  - зимова витрата при рівні води  $H$ ;  $k_3$  - перехідний коефіцієнт;  $Q$  - витрата води з графіка  $Q = f(H)$  для рівня  $H$ .

### 3. Обчислення витрат і стоку води при заростанні русла.

При заростанні русла водною рослинністю порушується однозначний зв'язок між витратами та рівнями води. Водна рослинність зменшує площу живого перерізу річки і збільшує шорсткість русла, в результаті чого пропускна здатність русла зменшується.

Витрати води за період заростання русла можна обчислити за кривими витрат води, з використанням перехідних коефіцієнтів  $k_{зар}$ . Для цього будують криву  $Q = f(H)$  для періоду коли в руслі немає рослинності. На цю криву наносять точки витрат, виміряних при заростанні і для кожної з них обчислюють перехідний коефіцієнт

$$k_{зар} = Q_{зар} / Q, \quad (31)$$

де  $Q_{зар}$  - витрата, виміряна при заростанні при рівні  $H$ ;  $Q$  - витрата, взята з кривої  $Q = f(H)$  для того ж рівня.

Потім будують хронологічний графік  $k_{зар} = f(H)$ . Через нанесені точки будують плавну  $k_{зар} = f(H)$ , яка відображає зміну перехідного коефіцієнта заростання русла в теплий період року (рис. 40).

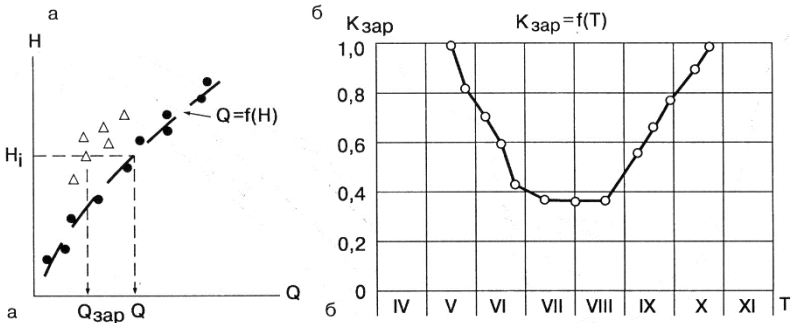


Рис. 40 Крива  $Q = f(H)$  (а) і графік  $K_{зар} = f(T)$  при заростанні русла (б)

На основі обчислених тим чи іншим способом середніх витратах, складають стандартну таблицю „Щоденні витрати води”, яка містить відомості про середні, найбільші і найменші витрати води за певні періоди, витрати води різної забезпеченості, дані про льодову обстановку на ділянці водомірного поста.

### **Питання для самоконтролю.**

1. Що називають кривими витрат води.
2. Що є основою для побудови кривих витрат води.
3. Що означає провести ув'язку кривих.
4. В чому полягає екстраполяція кривих витрат води.



## **Інформаційні ресурси**

### **Базова література**

1. Быков В. Д., Васильев А. В. Гидрометрия. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 448 с.
2. Косяк Д. С., Холоденко В. С., Галік О. І., Будз О. П. Г46 Гідрометрія. Практикум : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2017. 224 с.
3. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Водохозяйственные расчеты. Л. : Гидрометеиздат, 1952. 392 с.
4. Лаликін М. В., Ревера О. З. Гідрологічні та водогосподарські розрахунки. К., Вища школа, 1973. 199 с.
5. Литовченко О. Ф. Інженерна гідрологія та регулювання стоку. К. : Вища школа, 1999. 360 с.
6. Плешков Я. Ф. Регулирование речного стока. Л. : Гидрометеиздат, 175. 560 с.
7. Саваренский А. Д. Регулирование речного стоку водохранилищами. М. : Изд-во АН СССР, 1951. 236 с.
8. Сливка П. Д., Новосад Я. О., Будз О. П. Гідрологія та регулювання стоку : навчальний посібник. Рівне : УДУВГП, 2003. 287 с.
9. Сливка П. Д. Інженерна гідрологія та регулювання стоку. Рівне : Вид-во НУВГП, 2008. 136 с.
10. Яцик А. В. Водогосподарська екологія. Т. 2. К. : Генеза, 2004. 384 с.

### **Допоміжна література**

1. Зміни і доповнення до Водного Кодексу України, що внесені Законом України від 21.09.2000., №1990-110.
2. Малі річки України : довідник / А. В. Яцик, Л. Б. Бишовець, Є. О. Богатов та ін.; За ред. А. В. Яцика. К. : Урожай, 1991. 296 с.