



Д.С. КОСЯК, В.С. ХОЛОДЕНКО, О.І. ГАЛІК, О.П. БУДЗ

# ГІДРОМЕТРІЯ ПРАКТИКУМ

ГІДРОМЕТРІЯ • ПРАКТИКУМ



*Навчальний посібник*



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства  
та природокористування

**Д.С. КОСЯК, В.С. ХОЛОДЕНКО,  
О.І. ГАЛІК, О.П. БУДЗ**



**ГІДРОМЕТРІЯ**

**ПРАКТИКУМ**

*Навчальний посібник*

Рівне — 2018



Авторський колектив: Д. С. Косяк (кандидат географічних наук, доцент кафедри геології та гідрології Національного університету водного господарства та природокористування), В. С. Холоденко (кандидат географічних наук, доцент кафедри геології та гідрології Національного університету водного господарства та природокористування), О. І. Галік (кандидат сільськогосподарських наук, доцент), О. П. Будз (кандидат технічних наук, доцент кафедри геології та гідрології Національного університету водного господарства та природокористування).

#### Рецензенти:

**Калько А.Д.**, доктор географічних наук, професор кафедри географії і туризму Міжнародного економіко-гуманітарного університету імені академіка Степана Дем'янчука (м. Рівне);

**Хлапук М.М.**, доктор технічних наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне);

**Корбутяк М.В.** кандидат географічних наук, доцент кафедри туризму Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне).

*Рекомендовано вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.*

*Протокол № 3 від 26 квітня 2018 р.*

**Г46** Гідрометрія: практикум. Навчальний посібник / Косяк Д. С., Холоденко В. С., Галік О. І., Будз О. П. – Рівне : НУВГП, 2018. – 254 с.

**ISBN 978-966-327-399-0**

У навчальному посібнику розглянуто основні гідрометричні прилади та обладнання, їх будова, принцип роботи та методи застосування. Розглянуто первинну та спеціальну обробку результатів вимірювань окремих гідрометричних величин, сучасну автоматизовану обробку гідрологічних даних. Кожен розділ складається з основних визначень, короткого теоретичного викладу матеріалу і закінчується практичними завданнями. Додатки включають у себе варіанти вихідних даних для розрахунків. Мережеві прилади в системі гідрометеорологічної служби України і нормативні документи надані за станом на 2016 рік.

Навчальний посібник призначено для студентів вищих начальних закладів, які навчаються за галузями знань 10 «Природничі науки» та 19 «Архітектура та будівництво». Посібник може бути корисним для спеціалістів під час гідрометричних вимірювань, науковим та інженерно-технічним працівникам.

**УДК 556.5 (075.8)**

**ISBN 978-966-327-399-0**

© Д. С. Косяк, В. С. Холоденко,  
О. І. Галік, О. П. Будз, 2018  
© Національний університет  
водного господарства та  
природокористування, 2018



## ЗМІСТ

стор.

ПЕРЕДМОВА.....	6
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОНЯТТЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. ВОДОМІРНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ.....	15
2.1. Гідрологічний пост та організація водомірних спостережень на ньому.....	15
2.2. Типи гідрологічних постів спостережень.....	19
2.2.1. Прості та передавальні пости.....	20
2.2.2. Самописні та дистанційні пости.....	26
2.3. Система відміток та відліків на гідрологічному посту.....	41
2.4. Вимірювання рівнів води та спостереження за станом водного об'єкта на гідрологічному посту.....	48
2.5. Обробка даних водомірних спостережень.....	54
2.5.1. Обробка книжок для запису за рівнями води.....	55
2.5.2. Обробка стрічки самописця рівня води.....	57
2.5.3. Обчислення середньодобових рівнів води.....	60
2.5.4. Складання річної таблиці щоденних рівнів води та графіків коливання рівнів води.....	61
2.5.5. Спеціальна обробка рівнів води.....	65
2.5.6. Графіки зв'язку відповідних рівнів води.....	72
РОЗДІЛ 3. ПРОМІРНІ РОБОТИ.....	74
3.1. Прилади та обладнання для промірних робіт.....	74
3.2. Способи проведення промірних робіт.....	81
3.3. Обробка матеріалів промірних робіт.....	86
РОЗДІЛ 4. ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ ТЕЧІЇ ВОДИ.....	96
4.1. Характер розподілу швидкостей у потоці.....	96
4.2. Методи та прилади для вимірювання швидкостей течії води.....	99
4.3. Гідрометричні поплавки.....	100
4.4. Гідрометричні вертушки.....	103
4.5. Вимірювач швидкості течії.....	111
4.6. Залежність між числом обертів лопатевого гвинта вертушки та швидкістю течії. Тарування гідрометричних вертушок.....	118



4.7. Способи вимірювання швидкості течії води гідрометричною вертушкою в точці водного потоку.....	122
4.8. Способи вимірювання швидкості течії води на вертикалі гідрометричною вертушкою.....	124
4.9. Обробка результатів вимірювань швидкості течії гідрометричною вертушкою у точці спостереження.....	128
<b>РОЗДІЛ 5. ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ВОДИ У РУСЛОВИХ ПОТОКАХ.....</b>	<b>135</b>
5.1. Методи визначення витрат води.....	135
5.2. Облаштування гідрометричного створу.....	136
5.2.1. Вибір ділянки річки для гідрометричного створу.....	136
5.2.2. Визначення напрямку гідрометричного створу.....	137
5.2.3. Визначення напрямку гідрометричного створу поверхневими поплавками.....	139
5.2.4. Облаштування гідрометричного створу.....	141
5.3. Визначення витрат води за виміряними швидкостями течії за допомогою гідрометричної вертушки.....	142
5.4. Обчислення витрат води за виміряними швидкостями течії за допомогою гідрометричної вертушки.....	144
5.5. Визначення витрат води за виміряними швидкостями течії за допомогою поверхневих поплавків.....	152
5.5.1. Обчислення витрат води за виміряними швидкостями течії поверхневими поплавками.....	153
5.6. Розрахунковий спосіб визначення витрат води.....	157
<b>РОЗДІЛ 6. КРИВІ ВИТРАТ ВОДИ.....</b>	<b>160</b>
6.1. Побудова кривої витрат при однозначній залежності між витратами та рівнями води.....	161
6.1.1. Аналіз вихідних даних.....	161
6.1.2. Встановлення амплітуди коливання рівнів води та вибір масштабів для побудови кривої витрат води.....	162
6.1.3. Побудова кривої витрат води.....	163
6.1.4. Ув'язка кривих та складання розрахункової таблиці для кривої витрат води.....	166



6.1.5. Оцінка надійності кривих витрат води.....	168
6.2. Екстраполяція кривих витрат води.....	170
6.2.1. Екстраполяція кривих витрат води вверх.....	170
6.2.2. Екстраполяція кривих витрат води вниз.....	174
6.3. Визначення середньодобових витрат води в період заростання русла.....	175
<b>РОЗДІЛ 7. ВИВЧЕННЯ ТВЕРДОГО СТОКУ.....</b>	<b>178</b>
7.1. Прилади для взяття проб на каламутність.....	178
7.2. Визначення витрат завислих наносів.....	184
7.3. Обчислення витрат завислих наносів.....	188
7.3.1. Обчислення витрат завислих наносів графічним способом.....	188
7.3.2. Обчислення витрат завислих наносів аналітичним способом.....	193
7.4. Обчислення стоку завислих наносів.....	198
<b>РОЗДІЛ 8. АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА ГІДРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ.....</b>	<b>202</b>
8.1. Автоматизована обробка гідрологічних даних у 80-х роках ХХ ст.....	202
8.2. Сучасна автоматизована обробка гідрологічних даних.....	203
8.3. Гідрологічна вивченість території постів та водний кадастр.....	214
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>222</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>224</b>
ДОДАТОК А.....	225
ДОДАТОК Б.....	245
ДОДАТОК В.....	246
ДОДАТОК Д.....	247
ДОДАТОК Е.....	252



## ПЕРЕДМОВА

Поверхневі водні ресурси вивчаються гідрологією суші, до якої за методами дослідження водних об'єктів входять: гідрографія (описання водних об'єктів); інженерна гідрологія (методи розрахунку та прогноз характеристик водного режиму) та гідрометрія. Гідрологія поверхневих вод за водними об'єктами поділяється на потамологію (наука про річки); лімнологію (наука про озера); тельматологію (наука про болота).

**Гідрометрія** – це розділ гідрології суші, що вивчає методи спостережень за режимом водних об'єктів, із застосуванням при цьому відповідних приладів та обладнань, а також способи обробки результатів спостережень [1].

Основним методом дослідження гідрометричних величин є спостереження. До гідрометричних спостережень і робіт, які виконуються на річках належать: спостереження за рівнями води, промірні роботи, визначення похилу водної поверхні, вимірювання температури води, спостереження за льодовим режимом водойм і хімічним складом води, вимірювання швидкостей течії води, визначення витрат води, витрат наносів, а в окремих випадках і спеціальні дослідження – вивчення деформацій русел, переформування прибережної зони водосховищ тощо.

Гідрометрія поділяється на лабораторну та польову. Лабораторна гідрометрія базується на гідравлічних вимірюваннях характеристик водного потоку у спеціальних лабораторіях. Польова ж гідрометрія проводиться безпосередньо на водних об'єктах.

Гідрометричні величини (рівень води, витрата води та наносів), що характеризують водні ресурси, є основою для розрахунків під час проектування та здійснення водогосподарських заходів, у тому числі гідротехнічного будівництва, розрахунків водопостачання, експлуатації водного транспорту, будівництва залізниць і шосейних доріг, будівель і споруд та ін. У посібнику викладено методи спостережень за основними гідрометричними величинами.



В першому розділі розглянуто основні визначення та поняття, які застосовуються у гідрометрії. У наступних розділах розглядаються: водомірні спостереження на гідрологічних постах (розділ другий), методи та способи, прилади та обладнання, обробка даних вимірювань промірних робіт (розділ третій), вимірювання швидкостей течії води (розділ четвертий), визначення витрат води у руслових потоках (розділ п'ятий), побудова кривої витрат води (розділ шостий), вивчення твердого стоку (розділ сьомий). У восьмому розділі окремо розглянуто сучасні автоматизовані пости спостережень та обробка їх гідрологічних даних. В посібнику наведено опис, будова, схеми та рисунки гідрометричних приладів та обладнання, принцип їх роботи та практичне застосування, а також викладена методика обробки одержаних результатів гідрометричних вимірювань.

При підготовці посібника використано досвід викладання гідрології і гідрометрії на кафедрі водогосподарської екології, гідрології та гідравліки НУВГП. У процесі написання посібника автори використовували матеріали існуючих аналогічних робіт та результати опублікованих наукових досліджень. Перелік цих робіт наведено у списку використаної літератури.

Навчальний посібник призначено для студентів вищих начальних закладів, які навчаються за галузями знань 10 «Природничі науки» та 19 «Архітектура та будівництво».

Автори висловлюють подяку співробітникам кафедри геології та гідрології НУВГП за цінні поради і рекомендації щодо змісту посібника.





## РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОНЯТТЯ

Основні визначення та поняття розглянуто за ГОСТ 19179-73 [1] та сучасними літературними джерелами [2; 3; 19; 20], у яких наведено основні гідрометричні визначення та поняття, які застосовуються при різних методах, способах та обробці даних спостережень.

*Автоматизована інформаційно-вимірювальна система (АІВС) для характеристики гідрологічного режиму водних об'єктів* – це автоматизована система збору, контролю, обробки, збереження гідрологічних даних про водні об'єкти, водні ресурси, гідрологічний режим річок, озер, каналів, водосховищ, морів, льодовиків, підземних вод.

*Автоматизована обробка гідрологічних даних* – це автоматизований процес зчитування, розкодування, аналізу і коригування гідрологічної інформації з WebServer за допомогою спеціальних програмних пакетів та кодів.

*Батометри* – прилади для відбору проб води для обліку завислих наносів.

*Верхній квадрильянний рівень води* – рівень води, який відповідає забезпеченості 25% на кривій тривалості (забезпеченості) рівня води.

*Витрата води* – об'єм води, який протікає через живий переріз потоку за одиницю часу і визначається у  $\text{м}^3/\text{с}$ ; л/с.

*Витрата наносів* – кількість наносів, які транспортує вода через живий переріз річки за одиницю часу і визначається у  $\text{кг}/\text{с}$ .

*Відмітка (абсолютна висота)* – числове значення відстані по вертикалі від прийнятої початкової горизонтальної поверхні (умовного горизонту рівня моря) до даної точки.

*Відповідними рівнями* називають рівні двох або більше гідрологічних постів, які відповідають однорідним фазам водного режиму.

*Водний переріз* – поперечний переріз водного потоку.

*Водозбір* – частина земної поверхні, з товщею ґрунтів і гірських порід, звідки вода надходить у водний об'єкт. Виділяють поверхневий та підземний водозбір.



*Водойма* – природне або штучне заглиблення в земній поверхні, в якому затримується і накопичується (акумулюється) вода. В штучних водоймах воду затримують і накопичують за допомогою гребель.

*Водомірні спостереження* – спостереження за рівнем води у річках (озерах) та супутніх йому явищ (визначенням похилу водної поверхні, вимірюванням температури води, спостереження за льодовим режимом водойм і хімічним складом води, вимірюванням швидкостей течії води, визначення витрат наносів, а в окремих випадках і спеціальні дослідження – вивчення деформацій русел, переформування прибережної зони водосховищ тощо).

*Водотік* – водний об'єкт, який характеризується рухом води в напрямку похилу земної поверхні.

*Гідравлічний радіус* – це відношення площі поперечного перерізу русла до змоченого периметра.

*Гідрометричні роботи* – комплекс робіт, які проводяться на водних об'єктах з метою вимірювання характеристик водного потоку. Основні види гідрометричних робіт: спостереження за рівнем води та облаштування відповідних пристроїв; визначення витрат води та наносів; облік стоку води на ГЕС з виконанням тарування турбін і водозливних отворів; спостереження за температурою води та товщиною льоду.

*Гідрологічна мережа* – сукупність гідрологічних постів, розміщених на певній території.

*Гідрологічний витратомір* – гідротехнічна споруда для вимірювання витрат води у відкритих водних потоках за однозначною залежністю витрат води від напору над спорудою. Гідрологічний витратомір облаштовується рівнеміром.

*Гідрологічний пост* – пункт на водному об'єкті, який вибраний за відповідними вимогами та облаштований приладами та обладнанням для проведення систематичних гідрологічних спостережень.

*Гідрологічна станція* – установа, завданнями якої є вивчення гідрологічного режиму на території її діяльності та оперативне обслуговування народного господарства.



*Гідрометеорологічна мережа* — сукупність гідрометеорологічних обсерваторій, станцій, постів, спостережних пунктів (метеорологічних, авіаметеорологічних, аерологічних, гідрологічних, морських, агрометеорологічних, воднобалансових, болотних, селестокових, сніголавинних, озерних та інших), що входять у систему гідрометеорологічних спостережень.

*Гідрометеорологічна служба України (ГМС)* — це державна широко розгалужена, централізована і безперервно діюча організація, головне завдання якої — забезпечити різні галузі народного господарства метеорологічною і гідрологічною інформацією та прогнозами, попереджати про небезпечні гідрометеорологічні явища.

*Гідрометрична вертушка* — прилад для вимірювання швидкості течії води у водотоках і водоймах, відмінною рисою якого є використання ротора або лопатевого гвинта у якості чутливого елемента.

*Гідрометричний водозлив* — гідротехнічна водоскидна споруда, яка являє собою поріг або перегороджуючу русло стінку з вирізом — певної форми для зливу води.

*Гідрометричний лоток* — пристрій для визначення витрати води шляхом безпосереднього вимірювання глибини води, що протікає по ньому.

*Гідрометричний створ* — це створ (поперечник) через водотік, в якому визначають витрату води і виконують інші види гідрометричних робіт.

*Глибина* — це вертикальна відстань від поверхні води в даній точці водного дзеркала до дна річки.

*Донні наноси* — наноси, які формують русло річки, заплаву, або ложе водойми і знаходяться у взаємодії з водними масами.

*Екстраполяція кривої витрат води* — продовження кривої витрат вверх і вниз за межі визначених витрат води.

*Епюра швидкостей* — це графік розподілу швидкостей течії води по глибині потоку (від поверхні води до дна).

*Ехолот* — акустичний прилад для вимірювання глибини.



*Живий переріз* – частина водного перерізу, в якому спостерігається течія води.

*Забезпеченість рівня води* – це тривалість стояння рівня води, розрахована у відсотках від тривалості періоду спостережень за рівнями води.

*Завислі наноси* – наноси, що переносяться потоком води в завислому стані по складних траєкторіях.

*Змочений периметр* – довжина лінії дна потоку на профілі поперечного перерізу, яка проходить від урізу до урізу. За наявності льоду до довжини змоченого периметра додають довжину нижньої поверхні льоду.

*Ізобати* – лінії однакових глибин на плані ділянки річки або озера.

*Ізотахи* – лінії однакових швидкостей течії води, які проведені на кресленні швидкісного поля поперечного перерізу водного потоку.

*Каламутність води* – ваговий вміст завислих наносів в одиниці об'єму суміші води з наносами і виражається в  $г/м^3$ .

*Крива витрат води*  $Q = f(H)$  – це крива зв'язку між витратою і рівнями води для даного перерізу водотоку.

*Медіанний рівень води* – рівень води, який забезпечений на 50% на кривій тривалості (забезпеченості) рівня води.

*Межень* – фаза водного режиму, яка щорічно повторюється в один і той же сезон, характеризується низькою водністю, тривалим стоянням низьких рівнів води, яка виникає внаслідок зменшення живлення річки. Розрізняють зимову і літню межень.

*Мертвий простір* – частина водного перерізу, в якому не спостерігається течія води.

*Миттєва швидкість* – це швидкість потоку в будь-якій точці в певний момент часу.

*Місцева швидкість* – це швидкість течії в точці потоку усереднена за достатньо тривалий проміжок часу.

*Модальний рівень води* – рівень води з найбільшою повторюваністю, визначений з кривої повторюваності рівня води.

*Морфометричні характеристики русла* – це числові



значення ширини річки, площі водного перерізу, змоченого периметру, найбільшої глибини, середньої глибини і гідравлічного радіуса, які обчислюють для кожного профілю поперечного перерізу окремо.

*Наноси* – тверді частки, утворені в результаті ерозії водозборів і русел, а також абразії берегів водойм, які переносяться водотоками, течіями в озерах, морях і водосховищах, що формують їх ложе.

*Неоднозначна залежність між витратами та рівнями води* – це залежність складного виду, коли одному і тому ж рівню води, відповідають різні величини витрат води.

*Нижній квадрильянний рівень води* – рівень води, який відповідає забезпеченості 75% на кривій тривалості (забезпеченості) рівня води.

*Нуль графіка гідрологічного поста* – умовна горизонтальна площина порівняння, яка приймається за нульову відмітку при вимірюванні рівня води на гідрологічному посту, що знаходиться не менше, ніж на 0,5 м нижче від самого низького положення води в річці (озері) в створі поста і є постійною для всього періоду роботи поста.

*Нуль спостереження водомірного пристрою* – це матеріальна площина, яка має свою відмітку і від якої виконують відлік рівня води в момент спостереження (оголовок палі, нульова поділка рейки).

*Об'ємна витрата води* – об'єм води, який протікає через живий переріз потоку за одиницю часу.

*Однозначна залежність між витратами та рівнями води* – це графічна залежність між витратами і рівнями води у вигляді плавної кривої, коли одному значенню рівня відповідає одне значення витрати води.

*Паводок* – фаза водного режиму, яка може багаторазово повторюватися у різні сезони року, характеризується інтенсивним, зазвичай, короткочасним збільшенням витрат і рівнів води, що спричиняється дощами або сніготаненням під час відлиг, або їх сумісною дією.

*Первинна обробка водомірних спостережень* – приведення рівнів до нуля графіка гідрологічного поста,



обчислення середньодобових рівнів води, побудова річної таблиці середньодобових рівнів води, побудова суміщеного хронологічного графіка первинних рівнів води та ін.

*Площа водного перерізу* – площа, перпендикулярна до осередненого напрямку руху потоку: для відкритого русла, обмежена профілем русла і рівнем води. При льодовому покриві за верхню межу приймається нижня поверхня льоду.

*Площа живого перерізу* – це частина площі водного перерізу, в якій спостерігається течія води.

*Площа мертвого простору* – це частина площі водного перерізу, у якому відсутня течія води.

*Повторюваність рівня води* – це число випадків (днів) появи рівня за розрахунковий період в межах будь-якого заданого інтервалу рівня.

*Постійний водотік* – водотік, у якому рух води відбувається протягом року, або більшої його частини.

*Приводка нуля спостереження* – різниця, яка виражена в сантиметрах, між відміткою нуля спостереження водомірного пристрою і відміткою нуля графіка гідрологічного поста.

*Прийом* – це число сигналів гідрометричної вертушки і, відповідно, кількість обертів її лопатевого гвинта за проміжок часу між записами, що фіксується секундоміром.

*Промірні роботи* – це частина гідрометричних робіт з метою вимірювання глибини, визначення характеру дна річки, озера чи водосховища.

*Рівень води* – висота водної поверхні у водному об'єкті над умовною горизонтальною площиною порівняння.

*Річковий басейн* – водозбір річки або річкової системи.

*Сальтація наносів* – стрибкоподібне переміщення частинок донних наносів по дну водотока.

*Середня глибина* – це частка від ділення площі водного перерізу на ширину річки.

*Спеціальна обробка водомірних спостережень* – визначення характерних рівнів води та дат їх настання, повторюваності і тривалості рівнів води, а також побудова відповідних графіків.



*Стік наносів* – кількість наносів, що переміщуються у процесі поверхневого стоку.

*Тарування* – визначення залежності між числом обертів лопатевого гвинта гідрометричної вертушки за одну секунду та швидкістю течії води, яке виконується дослідним шляхом.

*Тимчасовий водотік* – водотік, у якому відбувається рух води протягом меншої частини року (період повені, паводку).

*Тривалість стояння рівня води* – це число випадків (днів) за розрахунковий період, коли спостерігалися рівні води вищі або однакові з заданим рівнем води.

*Уріз води* – лінія дотику поверхні води з берегом.

*Характерні рівні води* – це найвищий річний рівень води і дата його настання, найнижчий річний рівень води і дата його настання, рівень при якому річка очищується від льоду і дата його настання, рівень при якому починають з'являтися льодові явища і дата його настання.

*Швидкісна вертикаль* – прямовисна лінія від поверхні води до дна потоку, положення якої визначено і на якій вимірюється швидкість течії води в певних точках.

*Швидкість течії води* – це відстань, на яку переміститься частинка або деякий об'єм води за одиницю часу в процесі руху.

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

*Шуга* – це внутрішньоводний лід, який спливає на поверхню або занесений у глибину потоку і, який має вигляд грудок, килимів, вінків та підльодних скупчень.



## РОЗДІЛ 2. ВОДОМІРНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

### 2.1. Гідрологічний пост та організація водомірних спостережень на ньому

Спостереження за рівнями води й іншими елементами гідрологічного режиму проводять на гідрологічних постах. Ці спостереження повинні бути організовані так, щоб дані спостережень відповідали таким умовам: 1) на одному посту їх можна було порівняти за весь період їх дії; 2) допускали можливість співставлення результатів спостережень на ряду постів, які розташовані на одному водному об'єкті. Ці вимоги можуть бути виконані за умови, якщо на всіх постах буде діяти одна система спостережень.

Гідрологічні пости входять у складову гідрометеорологічної мережі України. Їх поділяють на різні розряди (I, II, III) – залежно від обсягів спостережень і робіт [4].

Кожен гідрологічний пост повинен складатися з: 1) водомірних пристроїв – обладнання для вимірювання рівнів води (рейки, або палі, або самописці); 2) постійних висотних знаків – реперів.

Пост облаштовується двома постійними реперами – основним і контрольним, які встановлюються поза зоною затоплення високими водами. Для установки реперів вибирають місця, які не заболочуються і де не відбуваються зсуви ґрунту. Не допускається встановлювати репери на ріллі, городах, стежках та дорогах.

*Основний репер* повинен задовольняти вимогам довготривалого збереження і не змінності його висоти. Він служить для перевірки висоти контрольного репера і розташовується поблизу поста. *Контрольний репер* влаштовується у створі поста, ближче до водомірних пристроїв і служить для систематичних перевірок висотного положення палі, нулів рейок та інших водомірних пристроїв.

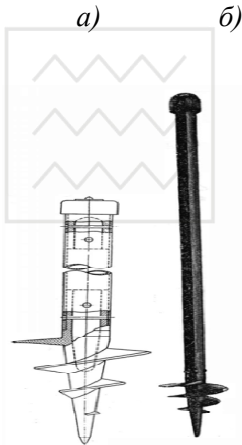
Основа репера закладається на глибині не менше, ніж на 0,5 м нижче лінії сезонного промерзання ґрунту.





На існуючій гідрологічній мережі репери в основному є постійними. При наявності біля поста капітальних споруд або скель в якості постійного репера поста може бути встановлений стінний репер, який закладають в отвір і закріплюють цементним розчином. При відсутності таких споруд постійний репер роблять із стандартного ґрунтового репера, який заглиблений в ґрунт до оголовка. За можливості пошкодження репера, його зберігають потайним. Вони відрізняються тим, що їх оголовки заховані під землею на глибині 0,5 м і для уникнення іржі покриваються асфальтовим лаком. Для впізнання місця розташування репера на поверхні землі насипають вал.

В якості контрольного і основного репера може використовуватися ґрунтовий репер ГР-43 (рис. 2.1, а) [5].



*Рис. 2.1. Ґрунтовий репер та  
гідрометрична паля:*  
а) ґрунтовий репер ГР-43;  
б) металічна гвинтова паля «СВГ-47»

В населених пунктах місце розташування репера не відмічається, а необхідні відомості подаються в паспорті поста і на плані ділянки. Репери повинні мати чіткі та надійно захищені зроблені надписи відомства, номера репера і рік його встановлення.

Основний репер прив'язують до державної висотної мережі нівелюванням III або IV класу подвійним ходом. Нівелювання репера проводять через два-три дні після його встановлення. Відмітки контрольного та водомірних пристроїв визначають нівелюванням IV класу подвійним ходом від основного репера до контрольного і до пристроїв. Нев'язка між ходами не повинна перевищувати  $\pm 3\sqrt{n}$ , мм, де  $n$  – кількість стоянок нівеліра по одному із ходів.



Ділянка річки (озера, водосховища) і місце для встановлення постових пристроїв вибирається в залежності від поставленої мети і задач спостережень. Також потрібно, щоб вибране місце відображало характерні особливості режиму рівнів води даної ділянки водного об'єкта.

Вибір ділянки річки і місце для установки гідрологічного поста повинні відповідати таким умовам:

1) бажано, щоб вибрана ділянка не мала заплави, а при її наявності слід вибирати найбільш пряму і вузьку заплаву з рівним рельєфом, без проток, стариць, вільну від чагарникової та деревинної рослинності;

2) річка повинна протікати одним руслом, не розділяючись на рукави та протоки. Русло повинно бути прямим та мати коритоподібну форму;

3) у руслі не повинно бути осередків, мілин, які викликають косоструйність течії, поперечні похили, підпори, а також сприяють утворенню заторів та зажорів льоду;

4) русло повинно бути стійким, не піддаватися значному розмиву та замуленню, не повинно бути засміченим корчами та іншим сміттям, не заростати водною рослинністю (очерет, тростина, рдест);

5) район розташування поста повинен знаходитися за межами поширення підпору від приток, штучних споруд і водоприймача даної річки;

6) на ділянці не повинно бути кар'єрів добування піску з річки, пляжів, місць скидів стічних вод, лісових бірж;

7) на гірських річках потрібно розташовувати пост вище стромовин (бистрин) і порогів там, де течія відносно спокійна і русло не завалене валунами та уламками скель;

8) крутизна схилів берегів повинна складати 20-30 градусів;

9) на озерах і водосховищах значних розмірів гідрологічні пости розташовують так, щоб дані їх вимірювань мали найменше спотворення рівневої поверхні від впливу вітру, стоку річок, скиду води з водосховищ. Також на величину цього спотворення впливають морфологічні особливості будови



улоговини водойми та узбережжя (звивистість берегової лінії, глибина, наявність мілководних заток тощо);

10) наявність населених пунктів у районі улаштування гідрологічного поста та засобів сучасного зв'язку, шляхів сполучень.

Під час польових робіт вибір ділянки річки і місця для установки гідрологічного поста, найбільшу роль відіграє вплив *змінного підпору* на ділянці річки. Він знижує точність гідрометричних вимірювань і ускладнює їх обробку. До причин виникнення цього змінного підпору відносять: 1) штучне регулювання стоку річки греблею, яка розташовується нижче обстежуваної ділянки; 2) природні коливання рівнів води приток, які впадають нижче наміченого створу або рівнів водоприймача; 3) тимчасові стиснення русла річки льодом (затори, зажори) або сплавлення деревини (залом); 4) деформація русла, яка призводить до значних змін дна річки; 5) заростання русла річки безпосередньо нижче наміченого створу.

Дальність поширення підпору від гідротехнічних споруд може бути визначена за матеріалами вишукувань і проекта споруд, або шляхом опитування осіб, які обслуговують споруду та місцевих жителів. За відсутності такої інформації дальність поширення підпору від гідротехнічних споруд може бути наближено визначена за формулою

$$L = a \frac{h_0 + z}{I}, \quad (2.1)$$

де  $L$  – дальність поширення підпору від гідротехнічних споруд, м;  $h_0$  – середня глибина русла при відсутності підпору, м;  $z$  – величина підпору, безпосередньо вище гідротехнічної споруди, м;  $I$  – середній похил водної поверхні при відсутності підпору від гідротехнічної споруди, м/м;  $a$  – коефіцієнт, який залежить від співвідношення  $z/h_0$  і визначається за табл. 2.1. Величини, які входять у формулу 2.1, визначають за матеріалами вишукувань або можуть визначатися на місцевості.

Під час визначення дальності поширення підпору, який виникає внаслідок природних коливань рівнів води притоків або



водоприймача, за величину  $z$  приймають повну амплітуду коливання рівня води у водоприймачі.

Ймовірність появи змінного підпору від тимчасового стиснення русла, деформації дна і рослинності, а також його приблизну величину і дальність поширення визначають шляхом опитування місцевих жителів.

Враховуючи можливість похибки при визначенні дальності поширення підпору за формулою (2.1) і за визначенням в результаті опитування місцевих жителів, рекомендується для кінцевого використання встановлену величину поширення підпору приймати з деяким запасом.

Таблиця 2.1

Визначення коефіцієнта  $a$ , який залежить від

співвідношення  $\frac{z}{h_0}$

$\frac{z}{h_0}$	5,0	2,0	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05
$a$	0,96	0,91	0,85	0,76	0,67	0,58	0,41	0,24

Якщо у районі, де встановлюється пост немає ділянок вільних від змінного підпору, то в таких випадках, задача зводиться до знаходження такої ділянки, де змінний підпір виражений слабше і його тривалість є найменшою. Для спостережень за режимом похилів водної поверхні на такій ділянці встановлюють похилі гідрологічні пости [4].

## 2.2. Типи гідрологічних постів спостережень

Гідрологічні пости незалежно від будови бувають *постійні* і *тимчасові*. В залежності від конструкції водомірних пристроїв гідрологічні пости діляться на: *прості (рейкові, палеві, змішані)*; *передавальні (мостові та тросові)*; *самописні*; *дистанційні*.



### 2.2.1. Прості та передавальні пости

Прості водомірні пости поділяються на *рейкові* (з вертикальною і похилою рейкою). Рейки бувають дерев'яні, металеві, емальовані, чавунні. Поділки на рейках розміщені через кожен сантиметр.

Гідрологічний пост з *вертикальною рейкою* може складатися з однієї чи кількох рейок залежно від конфігурації берега і амплітуди коливання рівнів води в річці. Влаштовуються при амплітудних рівнях, які не перевищують 2-3 м. При греблях встановлюють дві рейки – одну для спостережень за рівнями води у верхньому б'єфі, а другу – у нижньому б'єфі.

За відсутності на ділянці поста мостів та гідротехнічних споруд водомірна рейка закріплюється на палі або куші із 3-5 паль, які стягнуті хомутами із смугового заліза через 1-1,5 м по висоті. Рейка прикріплюється до паль за допомогою болтів або інших засобів.

Палі забивається вертикально до дна, по можливості, ближче до берега, але з таким розрахунком, щоб вона не висихала навіть при самому низькому рівні води. Верхньому кінцю палі на рейкових постах, бажано, надавати овальний обрис для кращого обтікання її водою. Водомірну рейку прикріплюють на палі цвяхами або шурупами у видовбаному для неї пазу. Якщо однієї двометрової рейки недостатньо для охоплення всієї амплітуди коливання рівня води, то у створі першої рейки встановлюється друга, а якщо необхідно, то і третя. При невеликій амплітуді коливання рівня води і положому березі річки (озера) доцільно встановлювати рейку у ковші, виритому на березі і з'єднаному з руслом канавою або трубою.

В окремих випадках, коли пост необхідно встановити на ділянці з кам'янистим дном, де не вдається забити палі, допускається при влаштуванні тимчасових постів закріплювати водомірну рейку на лежні, нерухомість, якої досягається навантаженням її великим камінням.

Довжина рейки повинна перевищувати амплітуду коливання рівнів води на 1,0 м. Нульова поділка її має бути на



0,5 м нижчою від можливого найнижчого рівня води, а верх рейки на 0,5 м вищим від можливого найвищого рівня (рис. 2.2).

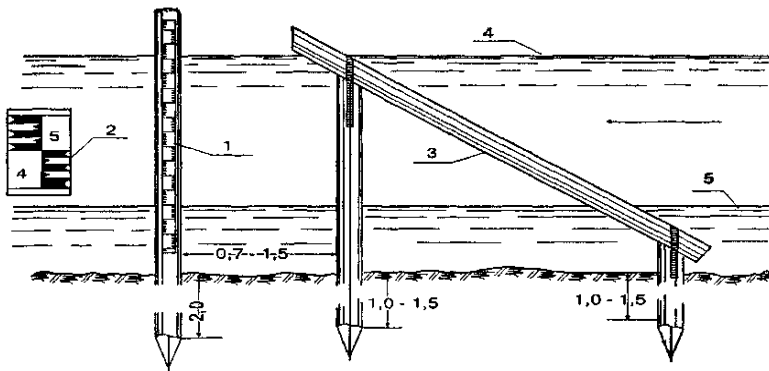
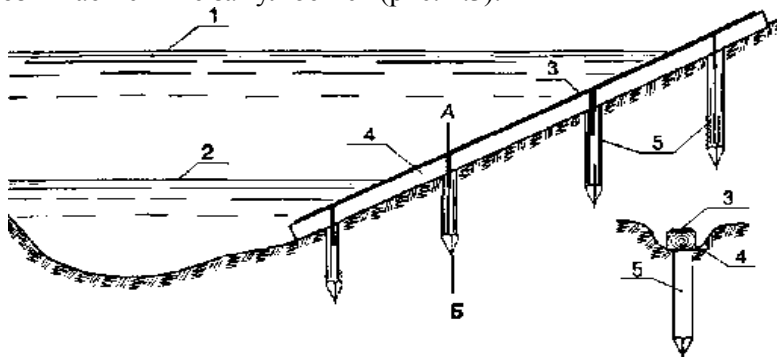


Рис. 2.2. Гідрологічний пост з вертикальною рейкою;

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

Гідрологічний пост з похилою рейкою встановлюють на ділянці річки з пологим берегом (20-60 градусів), що не розмивається і не замулюється (рис. 2.3).



### Розріз по А-Б

Рис. 2.3. Гідрологічний пост з похилою рейкою:

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



Встановлення поста з похилою рейкою доцільно в місцях, де є штучне закріплення берегових укосів. Пости з такою рейкою краще захищені, зручніші, точніші, але створення таких постів складніше і дорожче.

Поділки на похилій рейці повинні відповідати зміні на 1 см вертикальної рейки, тобто 1 см по вертикалі буде дорівнювати  $l = \frac{1}{\sin \alpha}$  см на похилій рейці. Тут  $\alpha$  – кут похилу рейки до горизонту.

При вищих амплітудних рівнях використовують *палеві пости* (рис. 2.4, а).

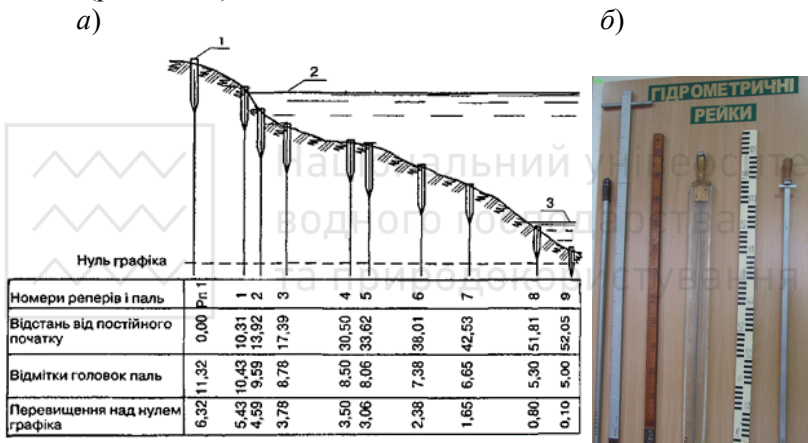


Рис. 2.4. Палевий гідрологічний пост:

а) схема встановлення палевого поста; 1 – репер; 2 – рівень високих вод; 3 – рівень низьких вод; б) види гідрометричних рейок

Вони встановлюються на рівнинних річках з похилими берегами і значною амплітудою коливання рівнів води. Такий пост складається із палей, розташованих в одному створі, який перпендикулярний середньому напрямку течії води. Загальна кількість палей залежить від амплітуди коливання рівнів води, кута нахилу берегового відкосу. Палі нумерують по порядку, починаючи з верхньої. Оголовок палі є нулем водомірних спостережень. Палі встановлюються за такими правилами: 1) оголовок верхньої палі поста повинен бути на 0,25-0,5 м вище



найвищого історичного рівня води в річці; 2) оголовок нижньої палі – на 0,5 м нижче найнижчого рівня води; 3) перевищення між оголовками палі повинно складати: для пологих берегів не вище 0,2-0,4 м; для крутих – 0,7-0,8 м.

На пересихаючих річках нижня паля встановлюється вище найнижчої точки дна в створі поста, але не більше чим на 10-15 см. Різниця висот оголовків двох суміжних паль повинна бути не більше 0,8 м, а горизонтальна відстань між палями встановлюється з розрахунком особливостей берегового укосу і зручного підходу до палі.

Одночасно із записом відліку по рейці записують номер палі. Загальна кількість паль, які необхідні для облаштування поста, і їх розміщення, попередньо визначається за поперечним перерізом берега. Тоді дані проекта поста переносяться на місцевість. Довжина гвинтових паль 220 см, діаметр 8 см. Нижня частина палі на довжині 35 см має гвинтову нарізку, а верхня частина довжиною 15 см, являє собою оголовок діаметром 10 см із сферичним заокругленням у верхній частині. Оголовок палі зафарбовують білою фарбою і на ній чорною фарбою двічі підписують номер палі.

Дерев'яні палі поста виготовляються з щільних порід дерев, які не піддаються гниттю. Для палі беруть відрізки колод діаметром 20-25 см. Їх довжина визначається в залежності від характеру ґрунту і глибини його промерзання, але не менше, ніж 1,5 м. Нижній кінець такої палі зарізається на 3-4 грані. При забиванні палі у щільний ґрунт на загострений кінець палі надягається сталевий башмак, а на верхній – сталеве кільце-бугель, яке захищає палю від розколювання.

У кам'янистому ґрунті паля встановлюється з хрестовиною на нижньому кінці у шурф, після чого він щільно засипається ґрунтом і утрамбується.

Після встановлення палі (дерев'яні) зрізують горизонтально з таким розрахунком, щоб їхні головки були над поверхнею землі на 10-15 см. Кожна паля має свою нульову відмітку, свою приводку.

Якщо берег річки скелястий, то у скелі роблять засічки у вигляді сходинок. Горизонтальні ділянки сходинок повинні бути





достатнього розміру для проходу по них спостерігача (20-30 см). У центрі ділянок встановлюються металічні штирі, які зацементовують у скелю. Висоту рівня води у річці на посту визначають за допомогою переносної водомірної рейки, яка встановлюється у центрі торця (на капелюшок цвяха) найближчої до берега затопленої палі. Переносна водомірна рейка (рис. 2.4, б) виготовляється з дерева або металічної труби. Рейка дозволяє вимірювати рівні води у межах 100 см з точністю до 1 см.

*Змішані* гідрологічні пости поєднують елементи рейкового і палевого постів. Їх споруджують на річках з різкими перепадами схилів берегів: на крутій частині берега – рейка, а на похилій – палі або навпаки – залежно від місцевих умов. Змішані пости доцільно встановлювати при наявності споруд, наприклад, мостів. На посту рівні меженних вод спостерігаються за палями, а рівні високих вод – за вертикальною рейкою.

*Передавальні* водомірні пости встановлюють тоді, коли підхід до води ускладнений (дуже круті береги). Передавальний пост встановлюється на природньому березі річки або на гідротехнічній споруді, якщо така є на ділянці поста.

Взимку, коли річка покривається льодом до передавального посту необхідно встановлювати рейковий чи палевий пост спостереження.

Рівні води в таких випадках заміряють по відстані від деякої постійної точки до поверхні води. До передавальних гідрологічних постів належать: *тросові* (з виносною стрілою), *мостові* [2; 4]. Схема передавального поста з виносною стрілою зображена на (рис. 2.5).

*Тросові* (з виносною стрілою) пости 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 покажчик при положенні важка, зануреного у воду на 0,5 м нижче від можливого найнижчого рівня води.

Перевищення рівня над нулем графіка визначається нівелюванням. Тарування гідрологічного поста виконується для того, щоб відлік по ньому давав безпосередню висоту рівня води над нулем графіка поста.

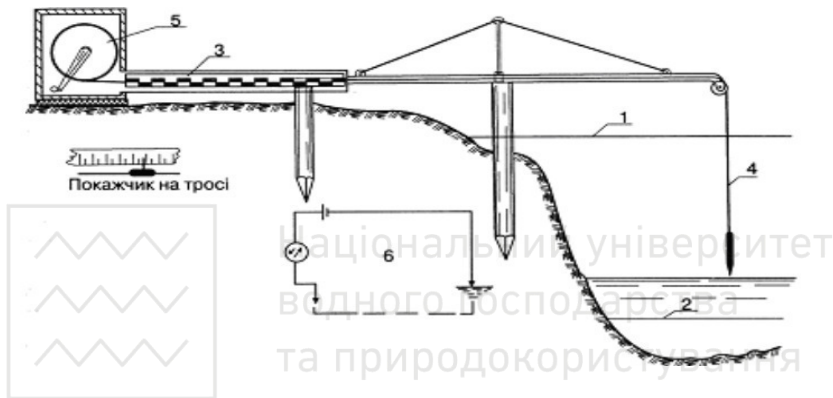


Рис. 2.5. Передавальний тросовий пост:

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

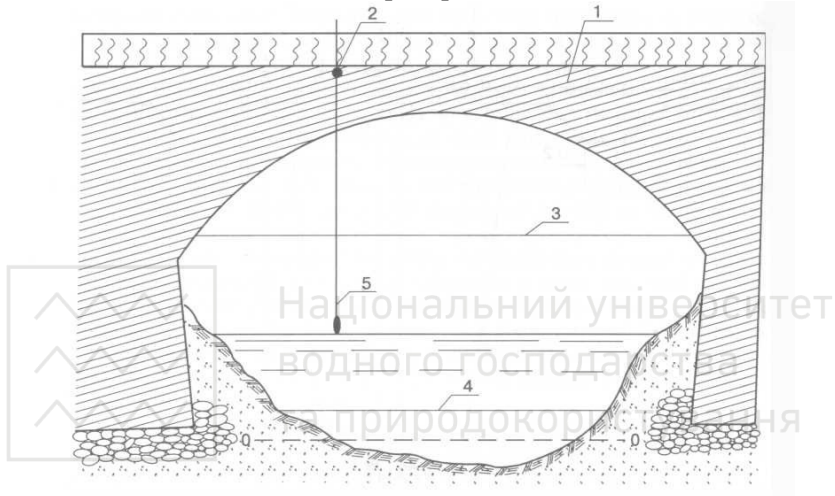
Після тарування рейка закріплюється. При невеликій амплітуді коливання рівнів води (2-3 м) пост забезпечують рейкою довжиною 2,5-3,5 м, для того, щоб визначати рівень води безпосередньо за рейкою проти покажчика, який закріплений на тросі.

Для вимірювання рівня води важок опускають до поверхні води і в цей момент роблять відлік по рейці проти покажчика. Момент торкання важка доводи 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.



До передавальних відноситься також *мостовий* гідрологічний пост, його встановлюють на містку чи іншій споруді, розташованій над водою (рис. 2.6).

Для цього на мосту (чи іншій споруді) вибирають і закріплюють кистилем або великим цвяхом постійну точку, яка і буде нулем спостережень. Висотне положення цієї точки визначають нівелюванням від репера.



*Рис. 2.6. Мостовий водомірний пост:*

*1 – міст; 2 – постійна мітка – нуль спостережень; 3 – рівень високих вод; 4 – рівень низьких вод; 5 – розмічений трос (стрічка) з важком; 0-0 – нуль графіка поста*

Щоб визначити рівень води над нулем графіка такого поста, необхідно відняти від відмітки нуля спостережень величину відліку від рівня води до нуля спостережень.

### **2.2.2. Самописні та дистанційні пости**

*Самописні* водомірні пости влаштовують для безперервного запису коливання рівнів води. Основним приладом самописного поста є самописець. Практично всі



самописці складаються з двох основних елементів: датчика рівня і записуючого пристрою. Найпоширеніший «Валдай» з добовим заведенням годинникового механізму (рис. 2.7).

Тривалість роботи самописця від 1 доби до 9 місяців. Виділяють два способи встановлення самописців: *береговий* (самописець встановлюється на березі водойми над колодезем, який трубою з'єднаний із водоймою) і *руслівий* (самописець встановлюється у руслі річки, на водосховищі (озері) на спеціальній споруді). Масштаб запису рівнів 1:1 або 1:2.

Встановлення самописця складається з трьох основних частин: 1) опори, яка безпосередньо споруджена у водоймі; 2) будки для самописця, яка встановлюється на опорі; 3) приймального резервуара, у вигляді труби, в якій знаходиться поплавковий самописець.

Тип установки вибирають залежно від амплітуди коливання рівнів, характеру та інтенсивності льодових явищ, форми берегів, складу їхнього ґрунту, кількості наносів, наявності гідротехнічних споруд, лісосплаву, судноплавства, від вартості спорудження установки.

Робота самописця рівня води «Валдай» базується на передачі записуючому елементу рухів поплавка, який рухається разом із зміною рівнів води [5].

Самописець «Валдай» складається з двох основних частин: поплавної системи, за допомогою якої передається коливання рівнів води і записуючого пристрою, який у певному масштабі на паперовій стрічці викреслює графік коливання рівнів. Поплавковий пристрій включає в себе: пустотілий металічний поплавок 2, прикріплений до нього груз-баласт 1 для занурення поплавка, противагу 3, металічний м'який трос 18 і поплавкове колесо 4, 5, яке обертає барабан 16. В залежності від підйому чи спаду рівня води барабан повертається навколо своєї осі в ту чи іншу сторону.



а)

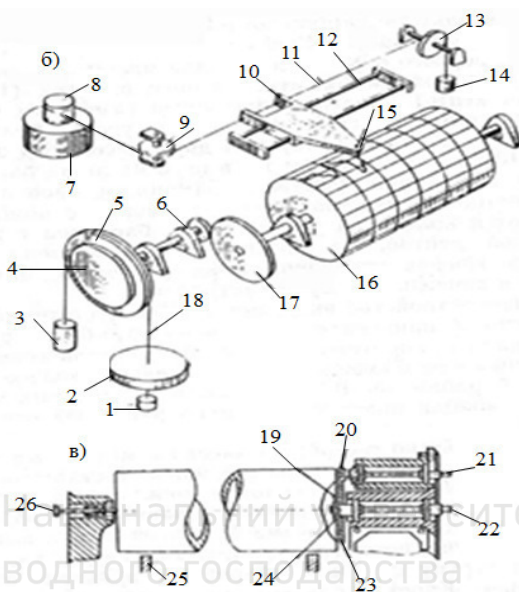


Рис. 2.7. Самописець «Валдай»: а) загальний вигляд;  
б) кінематична схема; в) розріз; 1 – груз; 2 – поплавок;  
3 – протизвага; 4 і 5 – поплавкове колесо; 6 – шестерня;  
7 – годинниковий механізм; 8 – барабан; 9 – ролик; 10 – каретка;  
11 – струна; 12 – направляючі стержні; 13 – ролик;  
14 – груз; 15 – перо; 16 – барабан; 17 – шестерня; 18 – трос;  
в) схема включення масштабних шестерінок з барабаном;  
19 – штифт; 20 – зубчасте колесо-трибка; 21 – вісь редуктора;  
22 – вісь з'єднана з барабаном; 23 – шестерня, закріплена на осі 22;  
24 – шайба; 25 – підкладки; 26 – головка рушійної осі

Записуючий пристрій складається із годинникового механізму 7, пера 15 з кареткою 10, двох направляючих стержнів 12, сталевий струни 11 і гирьки 14. Струна проходить між двома стержнями каретки 10; один її кінець закріплений і давить на барабан головки годинникового механізму 8, другий кінець, випущений із корпусу самописця, несе гирьку 14. Остання, відтягуючи і розкручуючи струну з головки барабану, приводить в дію годинниковий механізм. Каретка з пером за



допомогою спеціального зажиму кріпиться до натягнутої струни і під час ходу годинникового механізму рухається разом із струною вздовж барабану, ковзаючи за направляючими стержнями. Перо, в цей час, рисує графік коливання рівня води на стрічці барабана. На горизонтальній осі цього графіка дається час в годинах, а на вертикальній – висота рівня води. Конструкція приладу допускає запис рівня при багатократних обертаннях поплавкового колеса.

Барабан обертається на рухомому центрі, закріпленому на лівій частині приладу, і на осі поплавкового колеса, розміщеного в правій частині приладу. Паперова стрічка для запису рівня води утримується у прорізах барабана зажимом, розміщеним всередині нього.

В залежності від амплітуди коливання рівнів води у водоймах прилад дозволяє виконувати запис рівня у чотирьох різних масштабах: 1:1 (до 1 м); 1:2 (до 2 м); 1:5 (до 3 м) і 1:10 (до 6 м). Зміна масштабу запису досягається шляхом перестановки поплавкового колеса на одну із двох осей приладу. При цьому трос з поплавком одягається на відповідний диск поплавкового колеса.

За допомогою двох барабанів, які знімаються, запис часу можна виконувати у двох масштабах. Встановлення відповідного масштабу запису досягається наступним шляхом. Для запису ходу рівня води у масштабі 1:1 і 1:2 поплавок колесо закріплюється на основній осі приладу 22 (рис. 2.7, в); масштаб запису 1:1 буде отриманий при накладанні троса на малий диск 4 поплавкового колеса, а масштаб 1:2 – при накладанні троса на великий диск 5.

Для запису ходу рівня у масштабах 1:5 і 1:10 поплавок колесо закріплюється на допоміжній осі 21. Зубчасте колесо трибка 20 при цьому здвигається вздовж осі 21 до щеплення з шестернею 23, закріпленою на осі 22.

Відповідно для отримання масштабу запису 1:5 трос повинен бути накладений на малий диск поплавкового колеса 4, а для отримання масштабу 1:10 – на великий диск 5. При встановленні запису рівня води в масштабах 1:1 або 1:2 трибка 20 повинна бути виведена із зчеплення з шестернею 23.



Для збереження на стрічці постійності напрямлення запису при різних масштабах необхідно надівати поплавок на колесо 4, 5 так, щоб він при масштабах 1:1 або 1:2 був зліва, а при масштабах 1:5 і 1:10 справа від осі, якщо дивитися на самописець зі сторони поплавкового колеса (рис. 2.8).

Для того, щоб завести годинниковий механізм, необхідно відпустити гвинт, який закріплює каретку до струни, і навіть струну на барабан завідної головки; потім каретку, звільнену від струни, пересунути так, щоб перо її виявилось на потрібній, позначеній на стрічці мітці, абсцисі часу, і в такому положенні прикріпити каретку до струни.

Для регулювання ходу годинникового механізму на кришці коробки годинникового механізму є два важелі: один – для пуску і зупинки годин, другий – для регулювання їх ходу в межах 5 хвилин на добу.

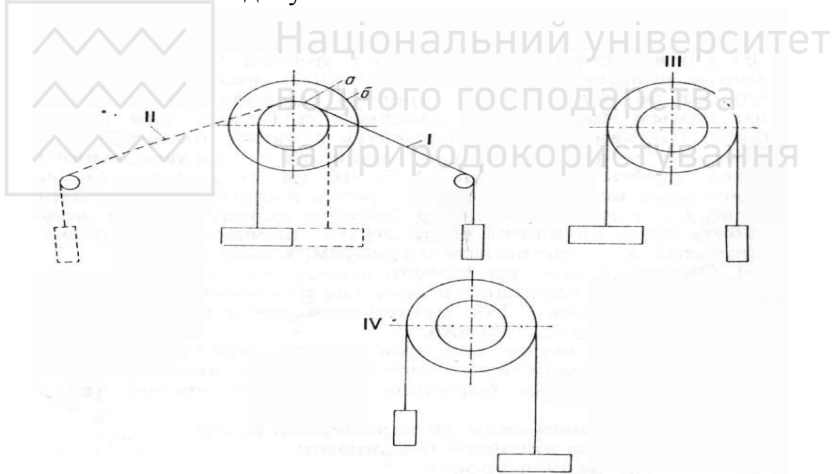


Рис. 2.8. Положення поплавка по відношенню до поплавкового колеса при різних масштабах запису: I – масштаб запису 1:1; II – масштаб запису 1:5; III – масштаб запису 1:2; IV – масштаб запису 1:10; а) малий шків; б) великий шків

Кожен прилад комплектується двома змінними барабанами: основний надягається на завідну головку для запису часу у масштабі 1 год = 12 мм, а другий – 1 год = 24 мм.



При цьому необхідно мати на увазі, що регулювання ходу часового механізму самописця при зміні барабана не зберігається.

Час роботи приладу від одного повного заведення годинникового механізму для масштабу запису часу 12 мм/год складає 26 мм/год, а для 24 мм/год – 13 мм/год. Похибка запису рівня для масштабу запису 1:1 рівна  $\pm 3$  мм, а для масштабу 1:10  $\pm 10$  мм [6].

Вісь записуючого механізму приладу знаходиться у литому корпусі.

Для встановлення самописця необхідний пристрій спеціального колодязя з будкою над ним. Колодязь служить для погашення хвилювань і для створення умов, які виключають можливість обмерзання поплавка. Пристрій встановлюється над колодязем так, щоб поплавок на всьому діапазоні зміни рівня не торкався стінок колодязя і не наближався до них ближче чим на 5 см. Противага поплавної системи при ході поплавка не повинна торкатися останньої. Для забезпечення цієї умови при встановленні самописця на стінці колодязя монтується відтягуючий блок, який використовується при реєстрації рівня води у масштабі 1:1 або 1:5. Відтягуючий блок повинен бути встановлений з таким розрахунком, щоб кут між вертикальною ділянкою троса і ділянкою, від відтягуючого троса, був не більше 120 градусів. При встановленні поплавної системи у масштабі 1:2 або 1:10 відтягуючий блок не потрібен. У межах павільйону пристрій встановлюється на міцних кронштейнах, які забезпечують його незмінне висотне положення, з розрахунком зручного підходу і поводження з ним. Основа приладу встановлюється на рівень і положення осі поплавної колеса нівелюється відносно постового репера.

Глибина колодязя визначається амплітудою коливань рівнів води у місці його облаштування. Колодязь з'єднується з водоймою трубою, переріз якої повинен бути приблизно рівним 0,01 перерізу колодязя.

Пристрій розрахований на роботу при температурі повітря від  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ .





Для нормальної роботи самописця необхідно забезпечити своєчасне заведення годинникового механізму і заміну стрічки, в залежності від вибраного масштабу та запису часу, один або два рази на день. Для надягання стрічки на барабан рухливий центр відтягується від опорного гнізда і встановлюється на запобіжник. Барабан рухом вперед і вліво виймають з приладу. Стрічка з обрізаними куточками накладається на барабан, її кінці заправляються у проріз і затискаються поворотом важеля на щоці барабана. Встановлення барабана у прилад виконується у зворотному порядку.

*При заміні стрічки виконуються такі роботи:* 1) готують нову стрічку; на якій проставляють порядковий номер, дату її встановлення, назву річки і пункту спостереження; 2) вимірюють рівень води на зовнішньому (на річці, озері) і внутрішньому (у приймальному резервуарі-колодязі) постах з приведенням відліків до нуля графіка поста; 3) відкривають кришку приладу і на старій стрічці самописця роблять засічку пером самописця шляхом легкого повороту барабана так, щоб перо провело вертикальну лінію довжиною 5-10 мм, після чого поворотом важеля у сторону до позначення «ВКЛ», нанесеного на платі механізму, призупиняють роботу часового механізму, записуючи на кінці лінії час і хвилини зняття стрічки та величину рівня, приведенного до нуля графіка поста, після чого стару стрічку знімають; 4) відкривають кронштейн пера вверх для того, щоб він не заважав зняттю барабана; 5) головка рушійної осі (26, в) є лівою опорою барабана, яка відтягується з опорного гнізда барабана і після невеликого повороту встановлюється на запобіжник. Потім барабан рухом вліво виводять із зачеплення з шайбою 24 осі поплавкового колеса і виймають із приладу; 6) поворотом важеля, який знаходиться на щоці барабана звільняють зажим і знімають стрічку з барабана; 7) нова стрічка з обрізаними кутами надягається на барабан, при цьому надпис на стрічці «До лівого краю барабана», розміщується зі сторони важеля; 8) у проріз барабана заправляють кінці нової стрічки і поворотом важеля зажимають їх у прорізі. Після заправки стрічки необхідно забезпечити паралельність поділок стрічки по обидві сторони прорізі та



щільність прилягання її до поверхні барабану; 9) встановлюють барабан на підкладки 25 і вводять у зачеплення з шайбою осі поплавкового колеса. Спочатку барабан надягають на виступ шайби 24, а потім, повертаючи його навкруги осі, вводять у зачеплення зі штифтом 19; 10) після встановлення барабана з стрічкою у робоче положення намотують на нього струну гирьового приводу і піднімають гирю. Підйом гирі виконується з таким розрахунком, щоб при найбільшому її положенні, виступаюча із під основи приладу ділянка струни була не менше 5-10 см. Якщо каретка з пером впирається у правий кронштейн направляючих або не доходить до потрібної поділки стрічки необхідно послабити гвинт на струні; 11) опускають до низу перо і встановлюють перо в робоче положення, доливають до його країв метеорологічне чорнило; 12) на нову стрічку накладають перо у точці, яка відповідає певній годині та рівню в цей момент (година та хвилини, число, місяць, рік), а також записують висоту рівня води за водомірною рейкою, початок запуску годинникового механізму (година), масштаб запису рівня води; 13) повертають важіль у сторону позначення «ВКЛ», запускаючи у роботу годинниковий механізм, після 5 хвилин, переконавшись, що перо пише закривають кришку приладу.

*Обробка стрічки самописця включає:* 1) перевірку якості записів; 2) розмітку записів для знаходження показників рівня; 3) зняття ординат (висот) рівнів з записів; 4) приведення показів самописця до нуля графіка поста; 5) складання місячної і річної таблиці рівнів води. Вся обробка стрічки самописця виконується на самій стрічці [4; 7].

*Перевірка якості запису* полягає у критичному перегляді запису, встановленні наявності на стрічці контрольних відміток і їх відповідність записам у польовій книжці, а також записів з назвою водного об'єкта, дати і відмітки нуля графіка.

*Розмітка запису* може бути виконана через рівні інтервали часу (години, доби) або ж за характерними точками. Спосіб розмітки за рівними інтервалами застосовується у випадку плавного ходу рівня води з виділенням добового максимуму і мінімуму.



При розмітці запису за способом характерних точок намічають точки на всіх піках, западинах і характерних переломах лінії запису. Незалежно від вибраного способу необхідно перевірити запис за часом. Ув'язка за часом усувається шляхом пропорційної її розкладки між контрольними засічками.

Величини рівня води знаходять за лінією запису для кожної години, знімаючи відлік від нуля стрічки чи іншої початкової ординати. Для визначення цієї ординати служить відлік рівня води за контрольним гідрологічним постом, який виписаний на стрічці. Якщо стрічка була розмічена за способом характерних точок, то відлік рівня води виконують у місцях засічок цих точок за лінією запису, а час (години або доби) визначають за перевіреною шкалою часу (години або доби). Якщо між показами поста і самописця є різниця, то знайдену ув'язку розносять пропорційно для кожного відліку рівня води на стрічці і відлік за нею відповідно виправляють.

Виправлення рівня з переведенням цих величин за масштабом запису перераховують у значення рівня води над нулем графіка гідрологічного поста.

В результаті обробки стрічки обчислюють середній рівень води за добу і визначають найвищий та найнижчий добові рівні.

Середній добовий рівень визначають: 1) у випадку розмітки запису через рівні інтервали – як середнє арифметичне значення із всіх відліків рівня води; 2) у випадку розмітки запису за характерними точками – шляхом суми площ, які обмежені лінією запису рівня води, межами інтервалів та віссю часу (години або доби) і діленням отриманої суми на тривалість запису.

Середній добовий рівень води можна також визначити планіметруванням площі стрічки, яка обмежена лінією запису з наступним діленням її на довжину (абсцису) запису.

Складання місячної і річної таблиці рівнів води розглянуто у підрозділі 2.5.

Одним із найбільш сучасних приладів для вимірювання, реєстрації та індикації вимірювань рівнів води у річках, озерах, водосховищах і прибережної частини морів у районах з



помірним кліматом є *рівномір поплавковий самозаписуючий уніфікований ГР-116* (рис. 2.9).

Рівномір можна використовувати як автоматично, так і у складі дистанційних та автоматичних систем збору гідрологічної інформації. Рівномір здійснює перетворення змін рівня: 1) при індикації у вигляді на пристрої індикації; 2) при спряженні з зовнішніми пристроями – у вигляді опору; 3) при реєстрації на діаграмному бланку – у вигляді кута повороту валу.

Рівномір складається з: механізму реєстрації, поплавка, протизваги, тросика, блоку живлення, кабелю К1, К2, К3, барабану, шурупа 1-5×30. Також рівномір має такі запасні частини: пружину, бланк діаграмний, стержень Ч2×36 М, голку, канат довжиною 25 м, вставку плавку, вилку, паспорт, викрутку.

Структура рівноміра має чотири основних блоки (рис. 2.9): 1) пристрою поплавкового вимірювального перетворювача (8); 2) редуктора; 3) механізму реєстрації (4); 4) блоку живлення.

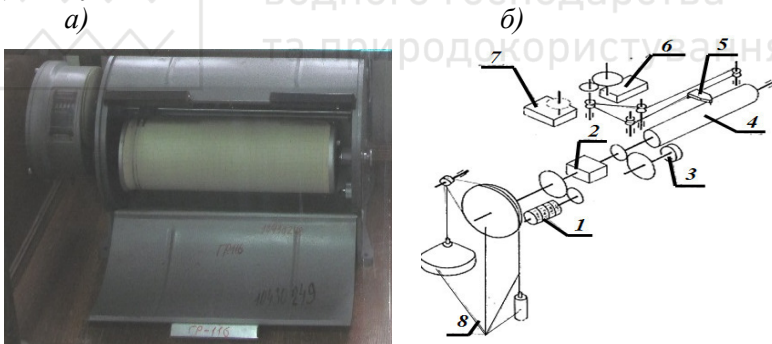


Рис. 2.9. Самописець ГР-116: а) загальний вигляд; б) кінематична схема; 1 – відліковий пристрій; 2 – масштабний перетворювач; 3 – перетворювач повороту поплавкового колеса в опір для дистанційної передачі зміни рівня води; 4 – механізм реєстрації; 5 – каретка; 6 – механічний годинниковий привід; 7 – електронний годинниковий привід; 8 – пристрій поплавкового вимірювального перетворювача



Принцип роботи рівноміра базується на тому, що при вимірюванні рівнів води виникає вертикальне переміщення поплавка, яке перетворюється на кут повороту поплавкового колеса.

У відліковому пристрої перетворюється поворот поплавкового колеса у цифрові величини (індикація).

При сполученні потенціометр перетворює поворот поплавкового колеса на опір для дистанційної передачі змін рівня води.

Масштабний перетворювач (2) разом з механізмом реєстрації (4) забезпечують запис повороту поплавкового колеса у часі на діаграмний бланк.

Пристрій поплавкового вимірювального перетворювача (8) складається з поплавка, який тросиком з'єднаний з противагою. Тросик перекинутий через поплавкове колесо. Відвідний ролик забезпечує зазор між поплавком і противагою.

Редуктор складається з наступних основних вузлів, які розміщені в одному корпусі: 1) відліковий пристрій; 2) масштабний перетворювач; 3) перетворювач рівня-опору.

Відліковий пристрій являє собою лічильник з трьох барабанів з цифрами і четвертого барабана з цифрами і штрихами, які дозволяють зчитувати інформацію про миттєве значення зміни рівня води з точністю до 0,25 см.

Масштабний перетворювач являє собою редуктор, в якому частина зубчатих коліс є змінними. Перестановкою зубчастих коліс за схемою, яка подається на внутрішній поверхні кришки редуктора, здійснюється зміна діапазону (масштабу) вимірювань. Одночасно, при установці змінного колеса, за допомогою важеля відбувається автоматична індикація діапазону вимірювання за шкалою редуктора. Масштабний перетворювач забезпечує реєстрацію п'яти діапазонів вимірювання рівня води.

Перетворювач рівня-опору складається з потенціометра і пари зубчатих коліс. Обертальний рух з вихідної осі масштабного перетворювача через пару зубчатих коліс надходить на вісь потенціометра.



Підключення здійснюється через розетку на корпусі редуктора.

Механізм реєстрації складається з таких основних вузлів:

- 1) відліковий барабан; 2) каретка з пишучим органом; 3) механічний привід годинниковий; 4) електронний привід годинниковий; 5) автономний блок живлення.

Механічний годинниковий привід (6) або електронний привід годинниковий (7) через зубчасту передачу приводить у рух ведучий ролик пристрою. Рух передається на каретку з пишучим органом (5), яка ковзає по напрямній паралельно осі відлікового барабана.

Зміни рівня води, перетворені в обертальний рух, через зчеплення муфт від вихідного валу масштабного перетворювача на відліковий барабан. Механізм реєстрації забезпечує реєстрацію інформації про рівень води у 6 часових діапазонах неперервного запису (В1–В6): 16 год, 32 год, 4, 8, 16 і 32 доби. Часові (години або доби) діапазони встановлюються перемиканням на панелі механізму реєстрації, а б – перестановкою коліс.

Порядок роботи рівноміра, який застосовується у якості автономного приладу включає:

1. Одягнути на барабан чистий діаграмний бланк і записати на ньому порядковий номер, дату, назву річки, пункту спостереження, діапазони вимірювання рівнів води і часу (години або доби).

2. Встановити барабан у робоче положення і завести механічний годинниковий привід (при роботі без електроживлення).

3. Натиснути кнопку живлення і перевірити наявність напруги. Якщо відсутнє світіння світлодіоду замінити комплект батарей (при роботі від автономного блоку живлення).

4. Провести настройку рівноміра: 1) встановити каретку пишучим органом у точку, яка відповідає часу і висоті рівня води; 2) увімкнути механічний годинниковий пристрій (при роботі без електричного живлення) або натиснути кнопку УСТ «О» і переконаватися у русі каретки зліва направо, (час перевірки



для механічного годинникового пристрою – 15 хв, для електронного годинникового пристрою – 5 с).

5. Зробити на бланку вертикальну засічку і поряд з нею записати час (години або доби) і рівень води за лічильником рівноміра.

6. Після закінчення часу вимірювання зробити на бланку вертикальну засічку, зліва від засічки записати час в годинах і хвилинах, а праворуч – значення рівня з лічильника, після чого відхилити записуючий елемент каретки, зняти барабан і бланк.

Перевід каретки в точку, яка відповідає часу вимірювань здійснюється таким чином, вивести із зачеплення змінне колесо на осі ведучого ролика, перевести каретку і знову ввести в зачеплення змінне колесо.

Рівномір здійснює запис кута повороту поплавкового колеса у часі на діаграмний бланк.

Діапазони вимірювання значення рівня води, коефіцієнти перетворення і масштаби відповідають величинам, які наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Діапазони вимірювання значення рівня води, коефіцієнти їх перетворення і масштаби

Діапазон	Діапазон вимірювань при індикації, реєстрації і спряженні, м	Коефіцієнт перетворення рівня на кут повороту валу		Масштаби вимірювань при спряженні і реєстрації
		см/град	см/обертів	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Д1	0-1	1/12	30	1:1
Д2	0-2	1/6	60	1:2
Д3	0-5	5/12	150	1:5
Д4	0-10	5/6	300	1:10
Д5	0-20	5/3	600	1:20

Діапазони неперервного запису часу і масштаби запису відповідають величинам, які наведено у табл. 2.3.



Таблиця 2.3

Діапазони неперервного запису часу і їх масштаби запису

Діапазон часу	Діапазон неперервного запису часу, доби	Масштаб запису, мм/год
B1	0-2/3 (16 год.)	20
B2	0-4/3 (32 год.)	10
B3	0-4	10/3
B4	0-8	5/3
B5	0-16	5/6
B6	0-32	5/12

Рівномір має два типи годинникового приводу: електронно-механічний, який працює у всіх діапазонах, а також механічний, який працює у діапазонах B2 і B4.

Межі допустимого значення абсолютної похибки  $\Delta H$  відповідають величинам, які вказано у табл. 2.4

Таблиця 2.4

Межі допустимого значення абсолютної похибки  $\Delta H$

Діапазон вимірювань рівня води	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5
Межі допустимого значення абсолютної похибки $\Delta H$ рівноміра при реєстрації і спряженні, см	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$	$\pm 5,0$	$\pm 10,0$
при індикації, см	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 5,0$

Межа допустимого значення приведеної похибки реєстрації часу для будь-якого діапазону не перевищує 1% від верхньої межі діапазону. Межа чутливості рівноміра не перевищує 0,25 значення абсолютної похибки для діапазону вимірювання Д1-Д4.

Значення номінального коефіцієнта перетворення рівня води в опір  $K_i$ , см/Ом наведено у табл. 2.5.





Номінальний коефіцієнт перетворення рівня  
води в опір  $K_i$ , см/Ом

Діапазон, м	0-1 Д1	0-2 Д2	0-5 Д3	0-10 Д4	0-20 Д5
$K_i$	0,0406	0,0812	0,203	0,406	0,812

В рівномірі передбачено пристрій контролю напруги живлення. При аварійному відключенні мережі виконується автоматичне перемикання електричного живлення рівноміра від вмонтованого джерела живлення.

Середня споживаюча потужність складає: від джерела постійного струму не більше 25 мВт для діапазону В1; для діапазону В6 – не більше 3 мВт; від мережі змінного струму не більше 5 Вт.

Потужність розсіювання на потенціометрі при спряженні не повинна перевищувати 40 мВт.

При стійкості до впливу кліматичних факторів навколишнього середовища відповідає ГОСТ 15150-69 та використовується при температурі повітря від мінус 25° С до 40° С, температурі води від мінус 2° С до 40° С і відсутності у воді льоду.

Середній час встановлення рівноміра не більше 12 годин. Середній термін служби рівноміра не менше 8 років.

При роботі рівномір повинен знаходитися на горизонтальній поверхні. Блок живлення повинен бути надійно заземлений. Під час експлуатації здійснюється періодична повірка рівноміра.

Більш детальна підготовка рівноміра до роботи, правила його транспортування і зберігання, профілактичні роботи з ним описані у його паспорті [13].

Дистанційні гідрологічні пости передають коливання рівнів води на відстані, застосовують переважно для потреб диспетчерської служби на гідроелектростанціях, водному транспорті, біля зрошувальних систем, а також на річках біля малонаселених та важкодоступних районів. Незалежно від



конструкції і принципу дії всі дистанційні пости складаються з датчика, джерела живлення, каналу зв'язку і реєстратора даних про рівні (рис. 2.10).

Датчики більшості дистанційних рівнемірів мають поплавковий пристрій, але є також манометричні, фотоелементні, акустичні, частотно-імпульсні, радіоактивні.

Як джерело живлення використовують наявну електромережу або акумулятори, батареї; для зв'язку – електропроводи чи радіозв'язок.

Рівень води реєструється за допомогою самописця, покажчика на шкалі або звуку при радіозв'язку.

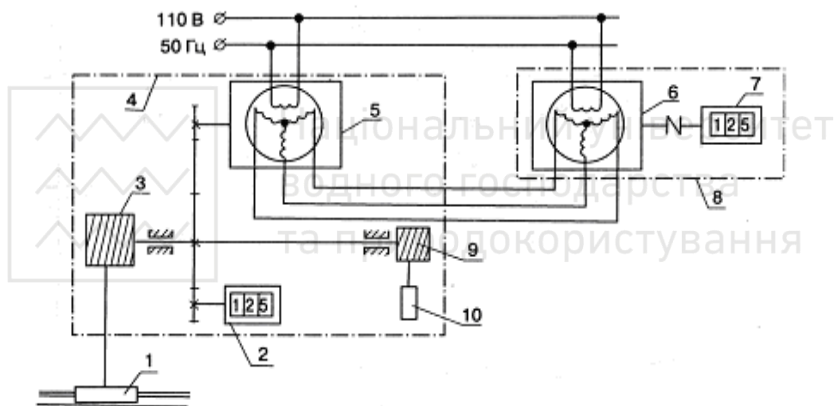


Рис. 2.10. Принципова схема дистанційного рівнеміра:

- 1 – поплавок; 2 – покажчик місцевого відліку рівня;
- 3 – барабан; 4 – селсинний датчик рівня; 5 – селсин-датчик;
- 6 – селсин-приймач; 7 – покажчик вторинного приладу;
- 8 – селсинний приймач; 9 – барабан; 10 – противага

### 2.3. Система відміток та відліків на гідрологічному посту

Рівні води, які спостерігаються на постах повинні бути віднесені до умовної площини нуля графіка гідрологічного



поста. Ця висотна відмітка залишається постійною для всього періоду роботи існування поста.

*Відмітка нуля графіка поста* вибирається так, щоб площа нуля графіка гідрологічного поста знаходилася не менше, ніж на 0,5 м нижче від самого низького рівня води у річці (озері), який спостерігається у створі поста. Це дозволяє при самих низьких рівнях води одержувати їх додатні відліки над нулем графіка і дає можливість уникнути від'ємних значень рівня води. (рис. 2.11) [3; 4].

На річках з не стійким руслом відмітку нуля графіка гідрологічного поста необхідно призначати з розрахунком можливої глибинної ерозії (розмиву) русла.

При малих глибинах русла відмітка нуля графіка може бути приведена до найнижчої відмітки дна річки у створі поста або дещо нижче її.

При наявності декількох постів, які розташовані на короткій ділянці річки (5-10 км) з невеликим падінням, доречно для всіх постів призначати однаковий нуль графіка. Також однаковий нуль графіка доцільно призначати для всіх постів, які розташовані на одному озері або водосховищі.

На водосховищах відмітка нуля графіка поста назначається на 0,5-1,0 м нижче проектного рівня спрацювання біля греблі водосховища.

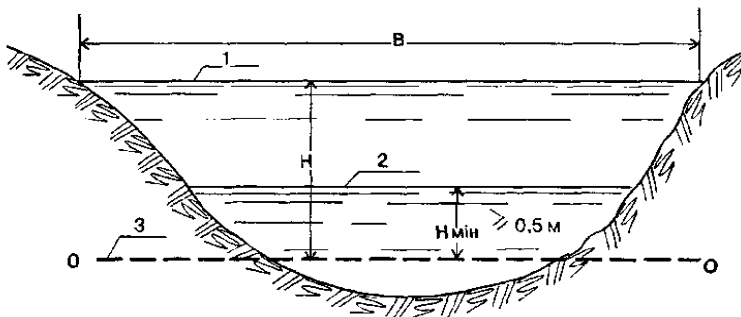


Рис. 2.11. Поперечний переріз потоку:

1 – рівень води; 2 – мінімальний рівень води; 3 – площина нуля графіка гідрологічного поста;  $B$  – ширина потоку



В окремих випадках може виникати необхідність зміни відмітки нуля графіка. Це може бути в результаті: 1) переносу поста на значну відстань; 2) невеликого попереднього призначення відмітки нуля графіка вище найнижчого рівня води; 3) значної зміни рівневого режиму води (наприклад, при побудові водосховищ).

Крім того, може виникати необхідність вимірювання відмітки нуля графіка при фактичній незмінності його висотного розташування. Це буває у таких випадках, коли змінюються відмітки реперів на посту: 1) при переході від умовної системи відміток до Балтійської; 2) при перерахунку відміток вихідних реперів відповідними органами геодезичної служби; 3) після повторного нівелювання реперів на посту, при умові, якщо з'являються розходження, які перевищують допустиму нев'язку нівелірного ходу.

Висотне положення площини нуля графіка поста визначається відстанню  $h_0$  (рис. 2.12) по вертикалі від репера гідрологічного поста. Якщо відома абсолютна відмітка репера, то віднімаючи від неї перевищення  $h_0$ , одержують абсолютну відмітку нуля графіка поста.



Рис. 2.12. Схема відміток і відліків на палевому гідрологічному посту



На гідрологічному посту може бути один або декілька нулів спостережень. На рейковому гідрологічному посту – ця площа нуля рейки, а на палевому – оголовок палі, на якому в цей час ведуться спостереження. На рис. 2.12 нуль спостереження представлено оголовком палі № 2. Висотне положення нулів спостережень визначається величинами перевищення репера над оголовками паль (або нулями рейок) поста.

Положення нуля спостереження може змінюватися в залежності від коливання рівнів води і кількості рейок та паль, встановлених на посту. Ці зміни можуть відбуватися при ремонті рейок або паль, встановлених на посту.

Перевищення нуля рейок і оголовок паль над нулем графіка поста, або різниця їх висотних відміток називається *приводкою* цих рейок та паль. На рис. 2.12 величини приводок паль № 1, 2, 3 будуть відповідно  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ . Для зручності обчислення рівнів над нулем графіка поста величини приводок виражають у сантиметрах.

Спостереження на водомірному посту можуть бути розпочаті тільки після того, як будуть виконані наступні роботи: 1) призначена відмітка нуля графіка поста; 2) нівелюванням від репера поста встановлені відмітки нуля рейок, а на палевому посту – оголовки паль; 3) визначено приводки всіх рейок (паль) над нулем графіка поста [4].

Спостереження за рівнями на рейкових та палевих постах полягає у наступному.

1. Спостерігач записує у журналі номер палі (рейки), за якою він проводить спостереження.

2. Виконує відлік рівня води ( $a$ ): на рейковому посту – за постійною рейкою, а на палевому – за переносною, яка встановлюється на оголовку палі. Відлік рівня води беруть з точністю до 1 см, округлюючи до парного числа. Відлік рівня води може бути додатнім та від’ємним.

3. За довідковою таблицею нівелювання поста встановлюється величина приводки ( $h$ ) палі (нуля рейки) за якою виконувався відлік рівня води.



4. Для обчислення висоти (в см) спостереженого рівня води над нулем графіка поста (приведений рівень) використовують формулу

$$H = h + a, \quad (2.2)$$

де  $h$  – приводка палі, см;  $a$  – відлік рейки, см.

Схема відліку рівня над нулем графіка поста і нулем спостереження показана на рис. 2.11, де відлік рівня по переносній рейці на палі № 2 дорівнює 8 см, а відлік рівня над нулем графіка поста  $H = 8 + h_2$ , см.

Якщо необхідно отримати абсолютну відмітку рівня води, то до висоти рівня води над нулем графіка (в метрах) необхідно додати абсолютну відмітку нуля графіка поста.

**Задача 1.** Результати контрольного нівелювання палевого гідрологічного поста наведено у довідковій таблиці журналу для запису гідрологічних спостережень (рівень води, стан водного об'єкту) (табл. 2.6). Відлік за переносною водомірною рейкою, яка встановлена на 9 палі, склав 24 см. Відмітка нуля графіка поста – 148,40 м абс., відмітка рівня низьких вод – 149,03 м абс.

*Необхідно:* 1) оцінити точність призначення відмітки нуля графіка гідрологічного поста; 2) визначити приводки палей, см; 3) визначити робочий рівень води над нулем графіка гідрологічного поста, см; 4) визначити відмітку робочого рівня, води, м абс.

Таблиця 2.6

Довідкова таблиця  
Відмітка нуля графіка 148,40 м абс.

№ репера, палі, рейок	Дата нівелювання				Причини зміни відміток, з якого часу застосовують нові відмітки
	28.09.2016				
	Відмітка, м	Приводка, см	Відмітка, м	Приводка, см	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Rp 1	153,258	486			
1	152,769	437			
2	152,248	385			
3	151,832	343			



1	2	3	4	5	6
4	151,374	297			
5	151,013	261			
6	150,757	236			
7	150,341	194			
8	149,447	105			
9	148,873	47			

**Розв'язок.** 1. Для водомірного поста встановлюють нуль графіка – уявну горизонтальну площину, яку намічають із таким розрахунком, щоб вона проходила приблизно на 0,5 м нижче самого низького положення води в створі поста. Нуль графіка є постійною площиною, над якою відраховують значення висоти рівня, що спостерігалися. Площина нуля графіка повинна мати відмітку в системі, що і репер поста. Ця відмітка повинна бути постійною за весь період дії поста. Змінювати висотне положення нуля графіка можна у вище описаних випадках підрозділу 2.3.

В даному прикладі різниця  $149,03 - 148,40 = 0,63$  м, що перевищує задані 0,5 м, тобто нуль графіка призначено вірно.

2. Для кожної палі розраховують приводку  $h$  – перевищення оголовка палі над площиною нуля графіка поста в сантиметрах. Знаходять різницю (в см) між відмітками репера та паль і відміткою нуля графіка. Результати розрахунків наведено в табл. 2.6 (графік 3).

3. Рівень води над нулем графіка ( $H$ , см) розраховують алгебраїчним додаванням  $H = h + a$ , де  $a$  – відлік за переносною водомірною рейкою. В даному прикладі рейка встановлена на 9 палю, тому рівень над нулем графіка буде складати  $H = 47 + 24 = 71$  см.

4. Відмітка робочого рівня води дорівнює сумі відмітки нуля графіка поста та відліку за переносною водомірною рейкою в метрах, тобто  $148,40 + 0,71 = 149,11$  м абс.

**Задача 2.** Побудувати профіль палевого гідрологічного поста за вихідними даними його нівелювання (табл. 2.7). За



результатами вишукувань виявлено: відмітка рівня високих вод – 151,48 м абс.

**Розв'язок.** 1. Профілі гідрологічного палевого поста будують на міліметровому папері формату А-4. На профілі гідрологічного поста (рис. 2.13) по горизонталі відкладають відстані від постійного початку, а по вертикалі – висотні відмітки. Масштаб вибирають кратним 1; 2 або 5. На профілі вправо від шкали на відстані не більше 1 см вказують у відповідності із вертикальним масштабом положення репера. Для визначення положення водомірних паль відкладають в масштабі відстані від репера до кожної палі і за відмітками знаходять її висотне положення. Лінію поверхні землі на профілі проводять плавно, із розрахунком, щоб оголовки паль підносилися над лінією не більше 2 мм.

Таблиця 2.7

Результати нівелювання контрольного репера та гідрометричних паль гідрологічного поста

№ палі	Відстань від контрольного репера, м	Абсолютна відмітка, м	Приводки паль, см
1	2	3	4
Rp 1	0,0	153,258	486
1	3,0	152,769	437
2	4,6	152,248	385
3	6,0	151,832	343
4	7,1	151,374	297
5	7,9	151,013	261
6	8,8	150,757	236
7	9,6	150,341	194
8	10,2	149,447	105
9	11,0	148,873	47

2. На профілі гідрологічного поста умовними позначками наносять тип репера та паль, а також характер ґрунту. На горизонтальних площинах, які відповідають відміткам наносять: історичні рівні води, робочий рівень води, відмітку нуля графіка. Рівні виписують із точністю до 0,01 м.



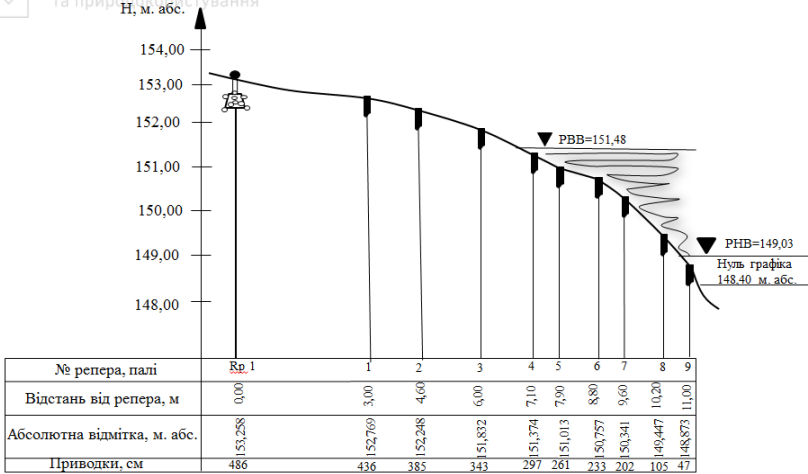


Рис. 2.13. Профіль гідрологічного палевого поста  
р. Уж біля м. Коростень

3. Під профілем складають таблицю, в якій виписують: номери реперів та паль, відстані від репера до паль, абсолютні відмітки паль, приводки паль.

## 2.4. Вимірювання рівнів води та спостереження за станом водного об'єкта на гідрологічному посту

Вимірюванню рівнів води приділяють велику увагу в зв'язку з тим, що між рівнями і витратами води існує тісна залежність  $Q = f(H)$ . Знання рівнів води відіграє важливу роль в народному господарстві, а саме: використання річок для водного транспорту і лісосплаву; будівництво осушувальних і зрошувальних каналів; проектування, спорудження і експлуатація різних гідротехнічних споруд, потребують даних про амплітуди коливання рівнів води. Основною причиною коливання рівнів води є зміна витрати води в річках, а також деформація, заростання русла, льодові явища, наявність та робота гідротехнічних споруд.



Рівень води на посту вимірюють щоденно о 8<sup>00</sup> і 20<sup>00</sup> годині за поясним часом. При проходженні повеней та паводків, окрім вказаних строків, необхідно призначати додаткові строки спостережень через однакові проміжки часу (2; 4; 6 годин) в залежності від характеру і швидкості підйому та спаду хвилі повені або паводку. У зимовий період, коли спостерігаються шугоходи, льодоходи та супутні їм явища зажорів та заторів також призначати додаткові спостереження рівнів води через однакові інтервали часу.

Рівень води на постах, де вимірюють повздовжній похил водної поверхні, визначають в строки встановлені для основного поста за наявності перемінного підпору. За відсутності підпору щоденні вимірювання похилу припиняються і відновлюються тоді, коли визначають витрати води.

На палевому посту рівень води вимірюють за допомогою переносної рейки, яку встановлюють вертикально на оголовки найближчої до берега палі, покритою водою. На рейковому посту рівень вимірюють за найближчою до берега рейкою, зануреною у воду. На постах, обладнаних самописцями у склад робіт входить зміна стрічок самописця, систематичний догляд за установкою самописця.

Результати гідрологічних вимірювань за рівневими пристроями (рейками, палями, передавальними пристроями) та станом водного об'єкта записуються у КГ-1М, КГ-1МА, КГ-1МС. У польову книжку ТГ-14М заносять гідрологічні дані щодо визначення повздовжнього похилу водної поверхні. Структура книжок та коди, які використовуються при її заповненні висвітлені у [10].

Температуру води вимірюють щоденно о 8<sup>00</sup> та 20<sup>00</sup> годині, а на постах, де спостереження ведуться один раз на добу – 8<sup>00</sup> годині. Спостереження починають з перших весняних відлиг і закінчують восени через 3-5 днів після встановлення стійкого льодоставу. Взимку при відлигах та тимчасовому порушенні льодового покриття спостереження поновлюють.

Місце для спостережень повинно бути вільним від місцевих спотворювань термічного режиму річки (вихід ґрунтових вод, скид промислових вод) і найбільш правильно



відображати термічний режим всієї водної маси річки. Місце для вимірювання температури води у річках вибирається у створі або поблизу гідрологічного поста, в прибережній частині річки з чітко вираженою течією води і глибиною не менше 0,3-0,5 м. На річках шириною менше 10 м температура води вимірюється на стрижні, а при малих глибинах – в найбільш глибокому проточному місці. На великих річках для визначення температури води її вимірюють на декількох вертикалях на різних глибинах.

Вимірювання виконуються водним термометром в оправі. Відліки проводять з точністю до 0,1 градусу[7] (рис. 2.14).

На гідрологічних постах, які знаходяться на відстані понад 30-50 км від метеорологічних станцій також проводять спостереження за температурою повітря.

На гідрологічних постах проводять спостереження за льодовими явищами для висвітлення льодової обстановки на ділянці поста протягом всього зимового періоду і для одержання даних про товщину льоду і шуги на ділянці поста, а також про товщину снігу на льоду. Товщину льоду і снігу на льоду та під льодової шуги вимірюють через кожні 5 днів, тобто 5; 10; 15; 20; 25 та в останній день місяця.

Товщину снігового покриву на льоду вимірюють переносною снігомірною рейкою. Вимірювання виконують у 4 точках біля місця призначеного для пробивання лунки. На кожній промірній точці визначають загальну товщину снігового покриву, товщину мокрого, насиченого водою снігу, якщо він є і товщину сухого снігу. За кінцевий результат приймають середнє із всіх вимірювань.

Для вимірювання товщини льоду пробивають лунки пешнею або шлямбуром. Також спостереження проводять за допомогою льодових бурів різної конструкції (БЛ-47, ГР-7, ГР-58, ГР-54, ГГІ-47) та льодомірних рейок [4] (рис. 2.15, 2.16, 2.17).

На середніх і великих річках у перші місяці спостережень вимірювання ведуть у 3 лунках на середині річки. Одна лунка повинна знаходитися у створі гідрологічного поста, а дві інші – 5-10 м нижче та вище нього.



а)

б)



Рис. 2.14. Термометри для вимірювання температури води:  
а) водний термометр в оправі; б) мікротермометр (без оправы)

Якщо результати вимірювань відрізняються не більше, ніж на 10-15%, а також при досягненні льоду 70 см, спостереження продовжують в одній лунці. На малих річках (шириною менше 25 м) вимірювання проводять в одній лунці на середині річки в створі поста. Лунку для кожного спостереження пробивають на новому місці поряд з попереднім.

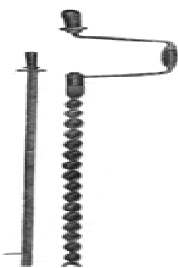


Рис. 2.15. Льодовий бур ГП-47 з льодомірною рейкою

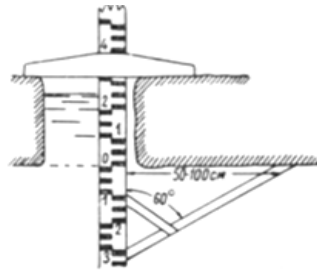


Рис. 2.16. Льодомірна рейка

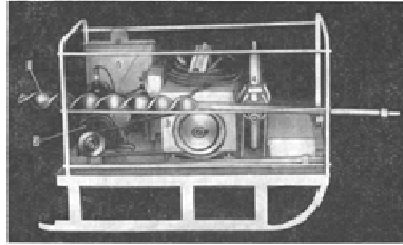


Рис. 2.17. Льодовий бур механізований ГР-54

Для вимірювання шару підльодової шуги використовують шугомірні рейки (рис. 2.18, 2.19) [7].

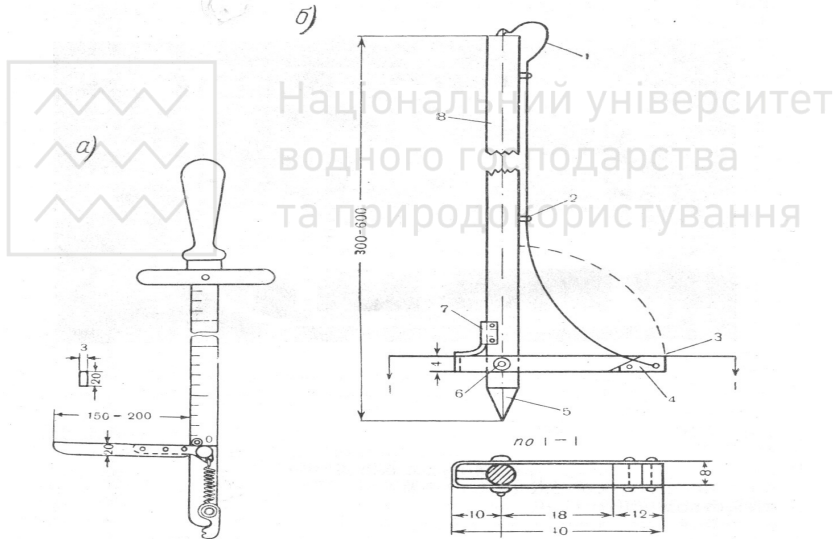


Рис. 2.18. Типи шугомірних рейок ГГТ:

- а) металічна з відкидною планкою;
- б) дерев'яна рейка-шест з металічним наконечником і відкидною планкою

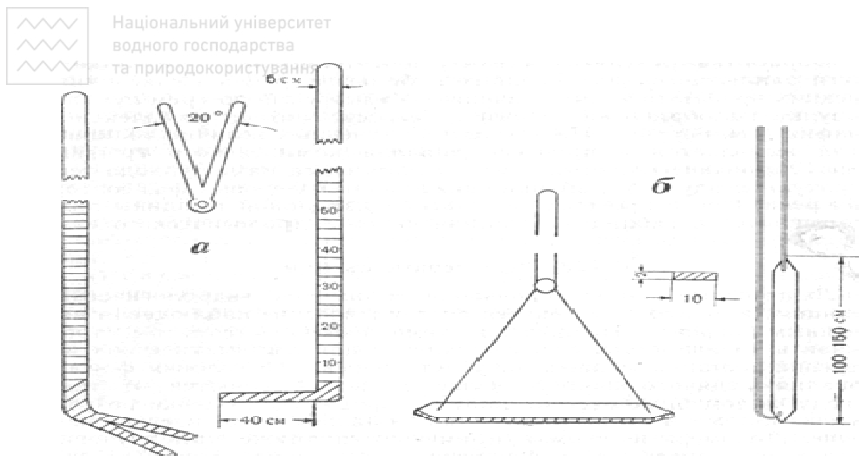


Рис. 2.19. Шугомірні рейки:  
*а* – рейка Добринського; *б* – шугомірна рейка Грошева

Порядок вимірювання наступний. Спочатку спостереження розпочинаються з вимірювання товщини снігу на льоду переносною снігомірною рейкою. Після цього у місці наміченої лунки зчищають сніговий покрив з поверхні льоду і визначають його характер (гладкий, нерівний, тороси).

Після пробиття лунок вимірюється товщина кристалічного льоду і глибина його занурення у воду. За наявності підводної шуги вимірюється товщина шару шуги. Обробка результатів вимірювання товщини снігу, льоду і шуги для середніх і великих річок полягає в обчисленнях середніх арифметичних значень за вимірюванням трьох лунок.

Льодові явища можуть значно змінити природний хід рівня води. Особливу увагу спостерігач поста повинен звернути на зажори та затори льоду. У зв'язку з цим, спостереження восени та весною ведуть на ділянці поста протягом доби, а записують в строки вимірювання рівня води. В осінній період фіксують появу сала, шуги, заберегів, осіннього льодоходу, зажорів. У період зимового льодоставу фіксують появу ополонки, тріщин, поліїв (шаруваті крижані масиви на поверхні землі, льоду або інженерних споруд). У весняний період фіксують появу закраїн, подвижок льоду, льодоходу, утворення заторів.



Детальний опис характеристики льодових утворень наведено в «Настановах гідрометеорологічним станціям та постам (випуск 6)» (додаток 7) [7].

Спостереження за водною рослинністю у руслі проводять щодакдно 10; 20; та в останній день місяця. Спостереження ведуться на всій ділянці гідрологічного поста.

Також до спостережень на гідрологічному посту відносять візуальні спостереження, з метою зафіксувати основні гідрометеорологічні характеристики (вітер, хвилювання, атмосферні опади). Інформація про них може бути використана при аналізі матеріалів гідрометричних вимірювань у якості показників умов виконання робіт.

## 2.5. Обробка даних водомірних спостережень

Первинна обробка водомірних спостережень проводиться щоденно спостерігачем поста і полягає в приведенні рівнів води до нуля графіка. Для цього до відліку рівня води по постійній рейці рейкового поста (або переносній рейці палевого поста) додають різницю між відмітками нуля спостережень і нуля графіка (приводку). У тих випадках, коли відлік був зроблений вниз від оголовка палі (нуля рейки), ця величина повинна відніматися від приводки даної палі (рейки).

Обробка зазначених даних проводиться у книжці для запису водомірних спостережень (табл. 2.8).

Величина приводок для всіх палей (рейок) гідрологічного поста, визначається техніком при нівелюванні і записується у спеціальну таблицю польової книжки спостерігача (див. табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Книжка для запису водомірних спостережень

Дата	Час, год	№ рейки, палі	Рівень води, см		
			Відлік	Над нулем графіка	Середньо -добове
20.09	8	1	10	110	111
	20	1	12	112	



У випадку пошкодження палі або рейки або встановлення додаткової палі величини приводок визначаються спостерігачем шляхом ватерпасовки (визначення перевищення за допомогою двох лінійок), наступною перевіркою результатів шляхом нівелювання. Також спостерігач обчислює середній рівень води за добу.

### 2.5.1. Обробка книжок для запису за рівнями вод

Обробка матеріалів за рівнями води включає в себе: перевірку польової книжки з метою встановлення правильності та необхідної повноти записів; обчислення кінцевих приводок нулів спостережень та приведення рівнів до нуля графіка поста; аналіз результатів спостережень; обчислення середньодобових рівнів води; складання річної таблиці щоденних рівнів води.

Перевірка записів спостерігача виконується на гідрологічній станції відразу після отримання від нього польової книжки за попередній місяць. Особлива увага приділяється записам про явища, які можуть змінити режим рівня води або викликати місцеві спотворення його природного ходу.

Обчислення записів рівнів води виконують після перевірки і встановлення величин приводок нулів спостережень до нуля графіка поста. З цією метою необхідно виконати наступні підготовчі роботи: порівняти величини приводок, обчислених за останнім та попереднім нівелюванням; вияснити причини та час зміни приводок; встановити межі інтерполяції приводок в часі; виписати обчислені величини приводок в книжки спостережень.

При обчисленні приводок приймають, що репер поста зберігає постійну відмітку. На зміну висоти репера поста впливає зміна приводок всіх паль (рейок) поста на одну і ту ж величину. При обчисленні приводок можуть мати місце такі основні випадки зміни відміток оголовків паль або нулів рейок поста, які виявлені в результаті ряду контрольних нівелювань за тривалий період часу:

- відмітки не змінюються або коливаються у межах точності нівелювання, не виявляючи прогресивної або





періодичної зміни. У цьому випадку за кінцеві приймають приводки, встановлені за першим нівелюванням;

- відмітки змінюються, виявляючи явну тенденцію прогресивної або періодичної зміни у зв'язку із таненням та замерзанням ґрунту льодоходами, льодоставами та інше. В цьому випадку приводки змінюють у відповідності з даними окремих нівелювань;

- відмітки змінюються неупорядковано (в одні періоди вони коливаються у межах точності нівелювання, а у інші спостерігаються прогресивні або періодичні зміни, і окремі нівелювання показують різкі зміни відміток). В цьому випадку необхідно застосовувати вказані вище правила у сукупності (для одних періодів приводки прийняти постійними, а для інших – перемінними).

У випадках необхідності змін відміток оголовок палів або нулів рейок поста виконують інтерполяцію приводок. Вона полягає у встановленні моментів часу (між датами контрольних нівелювань), до яких слід віднести зміни приводок, рахуючи що між цими моментами приводки залишаються постійними. Для знаходження моментів зміни приводок необхідно передивитися польові книжки, звертаючи увагу на записи про випадки пошкодження постових пристроїв. Якщо такі випадки мають місце, то зміни приводок необхідно віднести до дат пошкодження поста, тобто до пошкодження приймають одні приводки, після – інші. Якщо записів про пошкодження записів не виявлено, то слід звернути увагу на всі випадки, коли зміни висоти положень нулів спостережень були найбільш неймовірні (періоди льодоходів, замерзання та танення ґрунту, інтенсивного сплаву лісу, випадки причалювання суден в районі поста і т. і. Для контролю матеріалів спостережень слід побудувати графік зв'язку між значеннями рівнів води, які спостерігалися на сусідньому та на даних постах. Для цього потрібно використовувати ряд спостережень, який охоплює значно більший період часу, ніж той, що викликає сумніви у відношенні приводок. Також рекомендується побудувати сумісні в часі графіки ходу рівня води по всім постам, прикріпленим до даної гідрологічної станції і проаналізувати



ступінь їх сумісності. Несумісний хід рівня буде вказувати на моменти зміни приводок, характер цих змін та їх величину.

Приведення рівня до нуля графіка поста виконується після обчислення та перевірки величини приводок. Приведені до нуля графіка значення рівня води в сантиметрах записують червоними чорнилами в книжці спостережень поряд із записами спостерігача. Із строкових та додаткових спостережень рівня вибирають екстремальні значення – вищі та нижчі за місяць, які помічаються кольоровими олівцями (червоним – максимум, синім – мінімуми). Після вибірки екстремальних значень поряд із значеннями рівнів показують умовними позначками льодові утворення. Для контролю та аналізу остаточних встановлених величин рівнів, приведених до нуля графіка поста, будують комплексний графік результатів гідрометеорологічних спостережень (рис. 2.20), на який наноситься температура повітря і води, рівні води, опади, запаси води в снігу, висота снігу на льоду, товщина льоду тощо. Для гідрологічних постів з повним комплексом гідрологічних спостережень на цей графік наносять всі спостереження за елементами режиму річки.

### **2.5.2. Обробка стрічки самописця рівня води**

Обробка стрічки самописця рівня води складається з таких операцій: 1) перевірка якості запису; 2) розгортка запису; 3) розмітка запису для знаходження значення рівня води; 4) зняття ординат (висот рівнів запису); 5) приведення показів самописця до нуля графіка поста; 6) визначення середнього рівня за добу та найвищого і найнижчого добового рівня води.

Перевірка якості запису полягає у перегляді графічного запису, наявності на стрічці контрольних відміток та їх відповідності із записами у польовій книжці спостерігача, наявність розпізнавальних надписів з найменування водного об'єкта поста, дати і відміткою нуля графіка поста. У самому записі можуть бути перерви або ділянки з розпливчастим записом.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

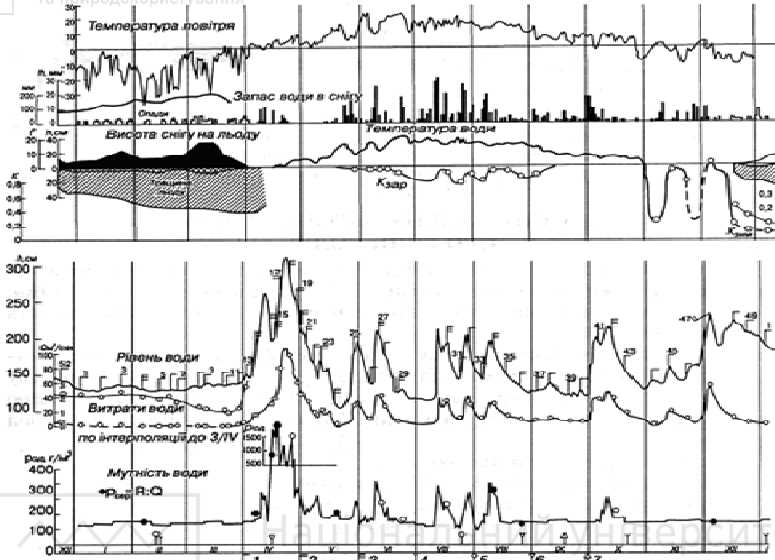


Рис. 2.20. Комплексний графік результатів гідрометеорологічних спостережень

Якщо перерви невеликі, хід запису до і після перерви плавний та однаковий, то пропуск відновлюється олівцем від руки у відповідності з загальним характером запису.

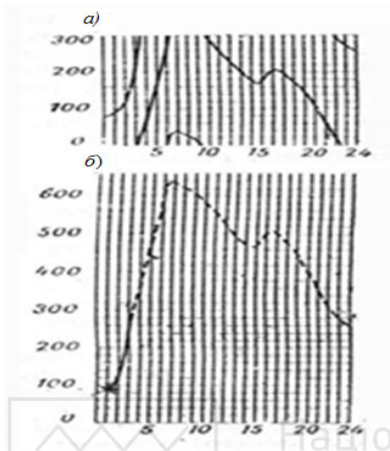
На ділянці, де запис розпливчастий, іншим кольором по середині розпливчастої смуги.

На рис. 2.21, а представлено запис ходу рівня води (підйом і спад), при якому барабан більше двох разів обернувся навколо своєї осі. Розгортка цього запису дає криву, представлену на рис. 2.21, б.

Розгортка запису проводиться наступним шляхом: нехай в 00 годин певної доби рівень води, який зареєстровано при встановленні стрічки, складав 80 см над нулем графіка (рис. 2.21, а); потім, як видно на графіку (стрічці), відбувався неперервний підйом рівня води і в 03 години 30 хв рівень досяг значення 300 см. Цьому моменту на графіку відповідає початок другої кривої, яка має нульову відмітку рівня. Це свідчить про



те, що барабан до цього часу (тобто до 03 години 30 хв) здійснив свій перший оберт.



*Рис. 2.21. Запис добового ходу рівня води на стрічці самописця «Валдай»:*

*а) вигляд запису на стрічці при повороті барабану навколо своєї осі більше двох разів;*

*б) розгортка цього запису на міліметровому папері*

Рівень води продовжував підвищуватися і в період від 03 години 30 хв до 6 годин склав 300 до 600 см; за цей час барабан здійснив свій другий оберт. У 6-годинний термін знову є дві відмітки рівня води 300 (фактично 600 см) і 0 (фактично більше 600 см); відповідно, друга відмітка є положенням попередньої. Так розшифровку запису на стрічці виконують до кінця доби, після чого будується графік ходу рівня води, який зображено на рис. 2.21, б.

Розмітка запису може бути проведена через рівні інтервали часу або за характерними (переломними) точками запису. Метод розмітки за рівними інтервалами часу застосовується у випадку плавного ходу рівня з виділенням точок добового максимуму і мінімуму рівнів води. При розбивці запису за методом характерних точок намічають засічками точки на всіх піках, впадинах і характерних переломах у ході запису. Незалежно від прийнятого способу розмітки необхідно вивіряти запис у часі. Нев'язка в часі усувається шляхом пропорційного її розподілу між контрольними засічками.

Величини рівнів знаходять за кривою запису для кожної години, знімаючи відліки від нуля стрічки або іншої початкової ординати, яка виражена іншим цілим числом. Для визначення цієї ординати служать відліки рівня води по контрольному гідрологічному посту, які виписані на стрічці. Якщо стрічка



була розмічена за методом характерних точок, то відліки рівнів виконуються у місцях засічок цих точок на кривих запису, а час визначається за вивіреною шкалою часу. Якщо між показами поста і самописця є різниця, то виявлену нев'язку розносять пропорційно для кожного відліку рівня на стрічці і відлік по ній відповідно виправляють.

Виправлені рівні води з переведенням їх величини за масштабом запису перераховують в значення рівнями над нулем графіка гідрологічного поста.

### 2.5.3. Обчислення середньодобових рівнів води

За даними рівнів води за окремі строки спостережень обчислюють їхні середньодобові значення. У випадках, коли внутрішньодобовий хід рівня води відсутній або виражений слабо, середньодобовий рівень визначають як середнє арифметичне значення рівнів о 8<sup>00</sup> і 20<sup>00</sup>, а при спостереженнях за один термін середньодобових рівнів приймають величину рівня води о 8 годині. При наявності допоміжних спостережень середньодобовий рівень визначають як середнє арифметичне значення з усіх (при умові рівних інтервалів). В протилежному випадку його обчислюють як середньозважену величину

$$H_{\text{сер. доб}} = \frac{H_8 \cdot 8 + H_{12} \cdot 6 + H_{20} \cdot 10}{24}, \text{ см,}$$

де  $H_8$ ,  $H_{12}$ ,  $H_{20}$  – відповідні рівні води, які вимірюються о 8 годині, 12 годині, 20 годині, см; 8, 6, 10 – кількість годин за добу стояння відповідних рівнів води, години.

При складному добовому ході рівня води (на гірських річках, в гирлових ділянках річок, які впадають у моря, а також на озерах і водосховищах, де відбувається регулювання стоку), визначення середньодобового рівня можливе тільки при неперервному запису ходу рівня води самописцем.

Обчислення середнього рівня за добу у випадку розмітки запису стрічки самописця рівня води через рівні інтервали часу виконуються як середні арифметичні значення із усіх відліків рівнів води. У випадку розмітки часу за характерними точками середній рівень за добу визначають шляхом додавання площ,



обмежених лінією запису рівня, межами інтервалів та віссю часу, і діленням одержаної суми на тривалість запису. Середній рівень за добу також може бути знайдений шляхом вимірювання площі стрічки, обмеженої лінією запису за допомогою планіметра, із наступним діленням її на довжину (абсцису) запису.

Обчислення середнього рівня води за місяць проводиться за даними середньодобових рівнів. Потім з усіх даних строкових спостережень вибирають максимальний і мінімальний рівні за місяць і відповідні їм дати.

#### **2.5.4. Складання річної таблиці щоденних рівнів води та графіків коливання рівнів води**

Після перевірки цих книжок та стрічок на гідрологічній станції дані про рівні води з них переносяться до річної таблиці щоденних рівнів води.

Спостереження за рівнями води за рік зводяться у таблицю «Щоденні рівні води» (ЩРВ), у яку випиуються із оброблених польових книжок рівні над нулем графіка поста – середньодобові, а при однотермінових спостереженнях – рівні води, які спостерігалися. Якщо у польових книжках зустрічаються пропуски у спостереженнях, їх можна заповнити:

- при пропусках не більше 5 днів – шляхом лінійної інтерполяції, якщо рівні води в цей період змінювалися плавно;
- при більш тривалих пропусках із значними коливаннями рівнів води – за графіком зв'язку рівнів води на найближчому посту даної річки.

Середній рівень води за рік обчислюють за середньомісячними величинами, а найвищий і найнижчий рівні за рік вибирають з максимальних і мінімальних рівнів за місяць.

В річній таблиці коливання рівнів води явища льодового режиму та інші характеристики водного об'єкта позначають умовною позначкою, яка ставиться справа від значення рівня води (рис. 2.22).



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

⤿ забереги

⋮ сало

× рідкий шугохід

\* густий шугохід

○ рідкий льодохід

● густий льодохід

! льодостав

|| вода тече поверх льоду

⌘ закраїна

⌐ переміщення льоду

▲ затор

▀ перший і останній пароплав

≠ початок і кінець лісосплаву

*Рис. 2.22. Умовні позначки явищ льодового режиму та інших характеристик водного об'єкта*

В примітках до таблиці вказуються терміни пересихання чи перемерзання річки і райони поста, а також явища, які пояснюють різкі зміни висоти рівня води.

Таку таблицю щоденних рівнів води публікують у Гідрологічних щорічниках. Зразок цієї таблиці для р. Горинь – смт. Ямпіль за 2016 рік наведено на рис. 2.24. У цій таблиці максимальні та мінімальні рівні води виділено різним кольором, відповідно червоним та синім.

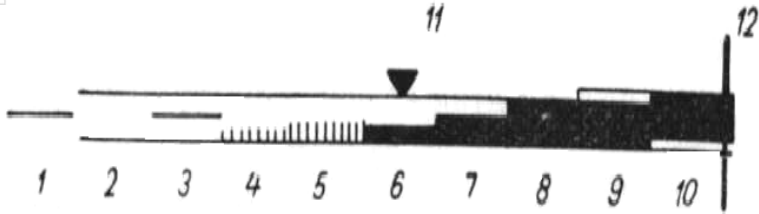
Починаючи з 1978 року у цих таблицях вказують за багаторічний період спостережень на гідрологічному посту, значення середнього рівня за рік, найвищого рівня за рік і з датою його появи та числом випадків, найнижчого рівня за період літньо-осінньої межені з датою появи та числом випадків, найнижчого рівня за зимовий період з датою появи та числом випадків. З 1992 року такі таблиці щорічників публікують в електронному вигляді і вони зберігаються в Гідрометеорологічній службі України.

За даними таблиці (ЩРВ) будується графік коливання середньодобових рівнів води, на якому користуючись умовними позначеннями (рис. 2.23), показують фази льодового режиму.

Якщо на річці є декілька гідрологічних постів, то доцільно будувати суміщені графіки коливання рівнів. Вони показують розвиток і переміщення на річці хвиль повені і паводків, а також характеру режиму рівня води у різні сезони року.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



*Рис. 2.23. Умовні позначення фаз льодового режиму:*

- 1 – сало; 2 – забереги; 3 – сало під час заберегів; 4 – рідкий шугохід;  
5 – шугохід; 6 – рідкий льодохід; 7 – льодохід; 8 – нерухомий льодовий  
покрив; 9 – вода тече поверх льоду; 10 – закраїни і лід піднято;  
11 – дата зажору або затору; 12 – дата переміщення льоду*



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування







## 2.5.5. Спеціальна обробка рівнів води

Матеріали спостережень за рівнями води можуть використовуватися для додаткової обробки з метою встановлення характерних рівнів води, повторюваності і тривалості рівнів води, встановлення статистичних характеристик рівнів води.

*Характерні рівні* визначають для кожного року, а також для багаторічного періоду. Для кожного року встановлюють найвищий рівень за рік і дату його появи, найнижчий річний рівень води і дату його появи, рівень, при якому з'являється льодовий покрив і дата його появи, рівень, при якому річка звільнилася від льоду і його дату.

За багаторічний період спостережень для зазначених характерних рівнів води вказують їх середньобагаторічну величину та граничні значення – найвищі та найнижчі. Для кожного характерного рівня знаходять строки настання найбільш ранній, середній, найбільш пізній. Крайні терміни настання того чи іншого характерного рівня вибирають з річної таблиці (ЩРВ), а середні терміни обчислюють. Для визначення середнього строку будь-якого характерного рівня, коли він спостерігається в окремі роки у різні місяці, необхідно строк кожного року привести до початку року чи одного найбільш раннього місяця, а потім визначити його середню дату.

Наприклад, якщо рівень весняної повені приходить за 5 років у такі терміни: 05.IV, 30.III, 25.II, 05.IV, 15.III, то приводячи ці дати до початку року, отримаємо такі числа днів від початку року: 95, 89, 56, 95, 74 (разом 409 днів від початку року). При приведенні терміну до початку року середній день появи рівня весняної повені буде визначатися:  $409: 5 = 82$  днів, а середня дата:  $82-31(I) -28(II) = 23(III)$ .

*Повторюваність (частота) та тривалість (забезпеченості) стояння рівнів води.* Знання повторюваності (частоти) рівнів води і тривалості (забезпеченості) стояння їх у певних висотних зонах дає змогу повніше використовувати ресурси річок. При проектуванні гідротехнічних споруд і використанні річок для зрошування, судноплавства, лісосплаву



тощо потрібно знати повторюваність (частоту) рівнів певної висоти і тривалість (забезпеченість) їх у потрібних висотних межах протягом навігаційного, вегетаційного, зимового або будь-якого іншого періоду року.

Для цього рівні води піддають спеціальній статистичній обробці і за одержаними даними будують криві повторюваності та тривалості рівнів води за будь-який період (сезон, рік, багаторічний період).

Вихідними даними для побудови кривих повторюваності та тривалості є річна таблиця середньодобових рівнів води. Розрахунки координат цих кривих ведуть в наступному порядку. Спочатку визначають амплітуду коливання рівнів води протягом року, як різницю між найвищим і найнижчим рівнем води. Далі амплітуду розбивають на рівновеликі інтервали (по 10, 20, 30, 40, 50 см), починаючи з найвищого рівня в залежності від амплітуди коливання рівнів води. Перший та останній інтервали можуть бути не рівновеликими, а рівновеликі повинні закінчуватися 0 або 9. Останній інтервал може відрізнятись від попередніх. Загальна кількість інтервалів повинна бути не меншою 10-15, але не більше 20.

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) отримаємо повторюваність рівнів води. *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*. *Тривалість стояння рівнів води* – число випадків (днів) в розрахунковому періоді, коли спостерігалися рівні води вищі або однакові із заданим рівнем. *Забезпеченість рівнів води* – це тривалість стояння рівнів, яка виражена у відсотках від усього розрахункового періоду.

Розрахунки координат кривих повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) ведуть за табл. 2.9.



Для побудови кривих повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) (рис. 2.25) на осі ординат відкладають вибрані інтервали рівні води, а на осі абсцис – тривалість періоду спостережень у днях та шкалу відсотків, на якій 100% відповідає всьому періоду спостережень. Необхідно мати на увазі, що при побудові кривої повторюваності (частоти) обчислені в табл. 2.9 їх значення відкладають на середині відповідного інтервалу рівнів, а при побудові кривої тривалості (забезпеченості) – на кінці інтервалу рівнів.

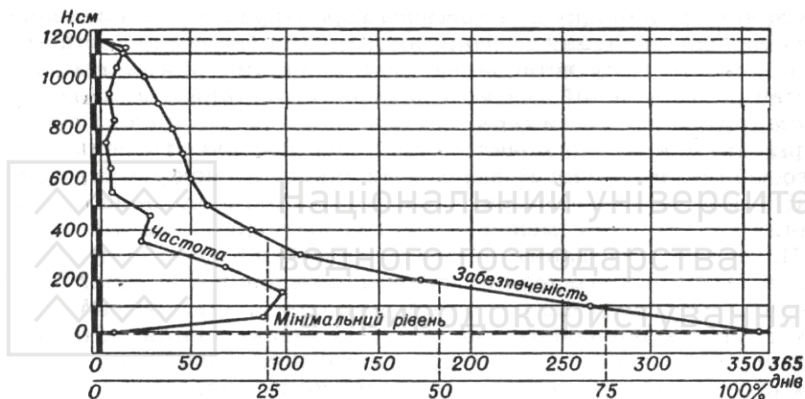


Рис. 2.25. Криві повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води

**Задача 3.** Скласти відомість повторюваності та тривалості рівнів води за рік за виділеними інтервалами рівнів води за результатами водомірних спостережень на р. Прут – гідрологічний пост Любківці за 2015 рік (табл. 2.9). *Необхідно:* 1) провести контроль числа днів стояння рівнів води в інтервалі по місяцях; 2) визначити повторюваність рівнів води в інтервалі і проконтролювати результат; 3) визначити частоту появи рівнів води в інтервалі; 4) визначити тривалість стояння рівнів води; 5) визначити забезпеченість рівнів води.

**Розв'язок.** 1. Контроль числа днів стояння рівнів води проводиться перевіркою останнього рядка таблиці (сума по



місяцях), в якому при вертикальному додаванні повинно вийти число днів в місяці (див. табл. 2.9).

2. Повторюваність рівнів за рік для кожного інтервалу визначають додаванням числа випадків (днів) для даного інтервалу за усі місяці. Повторюваність рівнів за рік для даної задачі дорівнює 366 днів.





Таблиця 2.9

Відомість повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води на р. Прут біля гідрологічного поста Любківці за 2015 рік

Інтервал рівнів, см	Кількість днів стояння рівнів в інтервалах												Повторюваність		Тривалість	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	дні	%	дні	%
520-491													0	0,0	0	0
490-461													0	0,0	0	0
460-431													0	0,0	0	0
430-401													0	0,0	0	0
400-371									1				1	0,3	1	0
370-341						1							1	0,3	2	1
340-311				1					2	1			5	1,4	7	2
310-281									2				2	0,5	9	2
280-251			2	1		1		1	1	3			9	2,5	18	5
250-221		1	2	9		1	1	2	1	1			18	4,9	36	10
220-191			2	15	5	3	1	7	5	4			42	11,5	78	21
190-161	3	1	16	4	20	15	3	15	8	17		1	103	28,1	181	49
160-131	23	26	9		6	8	20	6	11	4	30	23	166	45,4	347	95
130-101	5	1					6					7	19	5,2	366	100
	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	100		



3. Частота рівнів (або відносна повторюваність) обчислюється у відсотках по відношенню до 366 днів. Обчислення ведуть до сотих і сума частот повинна дорівнювати 100%.

4. Тривалість стояння рівнів води обчислюють як суму повторюваностей (див. табл. 2.9). Для останнього інтервалу тривалість стояння рівнів складає 366 днів.

5. Забезпеченість рівнів обчислюється у відсотках по відношенню до 366 днів. Обчислення ведуть до сотих і для останнього інтервалу рівнів забезпеченість складає 100%.

**Задача 4.** За даними відомості повторюваності та тривалості рівнів води визначити статистичні рівні води. *Необхідно:* 1) вибрати масштаби побудови кривих повторюваності та тривалості рівнів води; 2) побудувати криву повторюваності рівнів води; 3) побудувати криву тривалості рівнів води; 4) визначити модальний рівень води та його відмітку, якщо нуль графіка поста складає 148,40 м абс.; 5) визначити медіанний, верхній квадрилляний та нижній квадрилляний рівні води.

**Розв'язок.** 1. Побудова кривих проводиться в прямокутних координатах. На осі абсцис відкладають час в масштабі 1 мм – 2 доби. Шкали цифрують через 10 днів. Нижче проводять шкалу у відсотках: нуль днів – 0%; 366 днів – 100%.

На осі ординат відкладають рівні води: 1 см відповідає інтервалу рівнів відомості, тобто 1 см – 30 см рівня. Наносять на поле графіка горизонтальні лінії, що відповідають найбільшому рівню та найменшому рівню води.

2. Криву повторюваності рівнів води будують за даними повторюваності, які наведено у відомості (табл. 2.9). Значення повторюваності наносять на середину інтервалів рівнів. Одержані точки з'єднують прямими лініями. Криву доводять до найбільшого рівня при повторюваності нуль днів та доводять до найменшого рівня при повторюваності 0 днів (рис. 2.26).

3. Криву тривалості рівнів води будують за даними тривалості, які наведені у відомості. Значення тривалості наносять на нижню межу інтервалів рівнів. Одержані точки з'єднують прямими лініями. Криву доводять до найбільшого



рівня при тривалості нуль днів та доводять до найменшого рівня при тривалості 366 днів. Крива тривалості рівнів є інтегральною по відношенню до кривої повторюваності рівнів води (рис. 2.26).

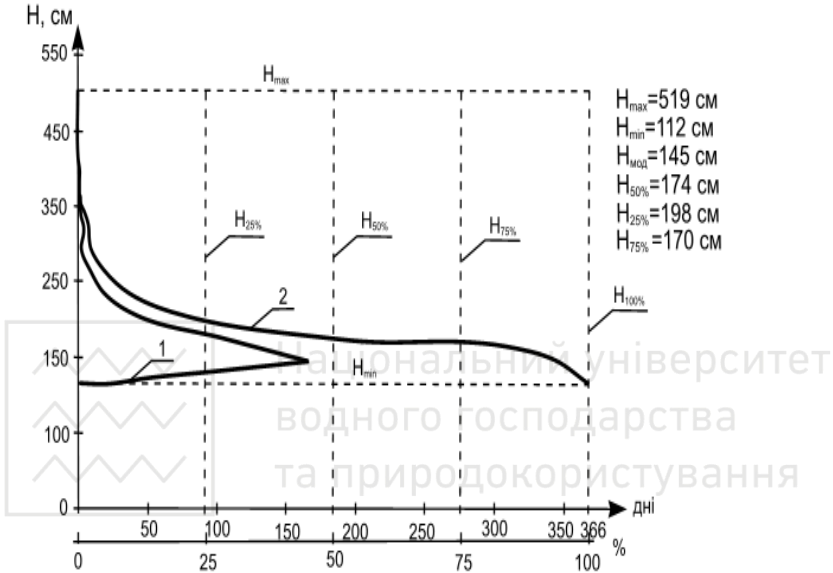


Рис. 2.26. Криві повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води:

1 – частота коливання рівнів води; 2 – забезпеченість рівнів води

4. *Модальний рівень* – це рівень, який найбільш часто повторюється. Його визначають за кривою повторюваності як рівень, що має найбільшу частоту, тобто знаходять на кривій точку, яка найбільше відхиляється від осі рівнів. В даному прикладі – 145 см. Цьому рівню відповідає відмітка  $148,4 + 1,45 = 149,85$  м.

5. *Медіанний рівень* – рівень, який забезпечений на 50% і його значення змінної ділить ряд на дві рівні частини. У задачі  $H_{med} = 174$  см. *Верхній квадрилляний рівень* – відповідає





забезпеченості 25%.  $H_{25\%} = 198$  см. Нижній квадрилляний рівень – відповідає забезпеченості 75%.  $H_{75\%} = 170$  см.

Якби крива частоти була симетрична, то модальний, медіанний і середній арифметичний рівні були б однакові.

### 2.5.6. Графіки зв'язку відповідних рівнів води

Рівні на сусідніх водомірних постах, які характеризують одну й ту саму фазу (максимальні на підйомі, мінімальні на спаді тощо) режиму рівнів річки, називають *відповідними*.

На рис. 2.27 показано, що рівні води на двох постах розташовані на одній річці, на невеликій відстані один від одного.

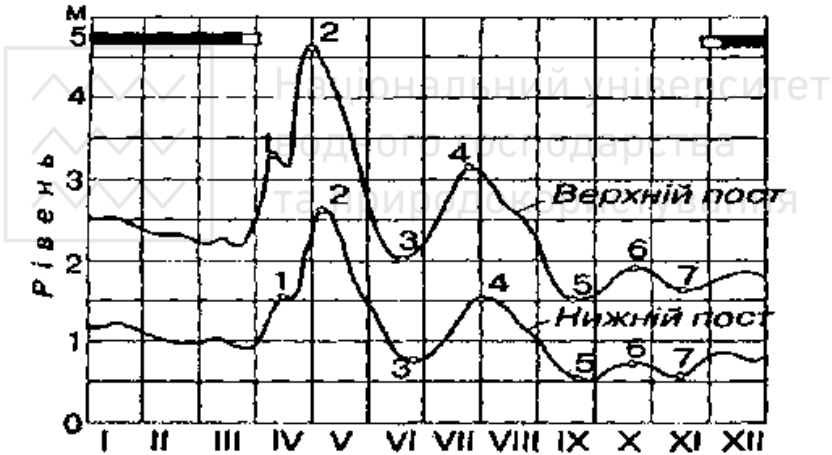


Рис. 2.27. Схема до визначення відповідних рівнів

На ньому проглядається чітка подібність в загальних рисах та в особливостях розташування характерних точок (гребені, паводки, низини западин). Точки 1-7 характеризують відповідні рівні води за фазами стоку на верхньому і нижньому постах.



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 представлено на (рис. 2.28).



Рис. 2.28. Графік зв'язку відповідних рівнів води

На горизонтальній осі відкладають рівні нижнього поста, а на вертикальній – верхнього, проводять пряму або криву лінію, яка і є графіком зв'язку відповідних рівнів.

На основі цього графіка за рівнями води одного поста можна відновити рівні, яких не вистачає для іншого поста.

Графіки зв'язку відповідних рівнів використовують також для прогнозу рівнів води нижнього поста за спостережуваними рівнями верхнього поста.



## РОЗДІЛ 3. ПРОМІРНІ РОБОТИ

### 3.1. Прилади та обладнання для промірних робіт

Промірні роботи виконують для визначення глибини та характеру рельєфу дна річки, озера, водосховища. Проміри глибин, якщо вони не пов'язані з гідрометричними роботами, доцільно проводити при меженних рівнях.

Промірні роботи необхідно проводити шляхом вимірювання глибин в окремих точках або шляхом безперервного запису профілю дна. В першому випадку отримують глибини в окремих точках, які знаходяться на певних відстанях одна від одної в залежності від потрібної точності промірів.

Для вимірювання глибин в окремих точках використовують такі прилади і обладнання: ручні, механічні, акустичні.

До **ручних** відносять *гідрометричну штангу*, яка призначена для кріплення на ній гідрометричної вертушки та інших гідрологічних приладів (наприклад, батометр-пляшка), а також для визначення глибини. Вона складається з двох трубчатих ланок, які можуть використовуватися окремо або як одне ціле. Ланки з'єднуються між собою за допомогою штикового затвору або з'єднувальною пробкою з гвинтом. На нижньому кінці штанги є піддон з конусним оголовком. На ланки гідрометричної штанги нанесені сантиметрові поділки, а через кожні 10 см на шкалі нанесено число. При з'єднанні ланок утворюється єдина шкала поділок. Нульова поділка шкали співпадає з нижньою поверхнею піддона. Довжина гідрометричної штанги складає 3 м, а довжина ланок 1,5 м. Вага штанги 6 кг. Точність вимірювання за допомогою штанги 1 см.

При глибинах до 5-7 м для визначення промірів використовують *мірку* (рис. 3.1, *a*). Це кругла, дерев'яна жердина діаметром 4-6 см, розмічена через 10 см червоною і білою фарбами. На нижній кінець надітий металевий башмак масою 0,5-1,0 кг. Якщо дно мулисте, то на нижній кінець надівають піддон. При вимірюванні глибини мірку направляють



уперед нижнім кінцем проти течії по ходу човна і, коли вона займе вертикальне положення, знімають відлік. Точність вимірювання 2-5 см. Також при глибинах 10-12 м для промірів використовують *плавучу мірку* (рис. 3.1, б) складену з дерев'яних або з металевих тонкостінних труб.

На річках глибиною до 25 м для промірів використовують *ручний лот* (рис. 3.1, в). Це металевий груз масою до 5 кг, з вушком для прикріплення лотліня. Лот має шнур діаметром 3-5 мм, який розмічають на метри і дециметри (вплітають шкіряні марки у шнур). Спеціально виготовляють заводський ручний промірний лот завдовжки 335 мм, діаметром 26 мм, масою 4,5 кг, яким можна вимірювати глибини до 25 м, а у водоймах без течії – до 100 м. Ручний лот у нижній частині має заглиблення, яке під час промірів змашують жиром або вазеліном. Коли лот торкається дна, частинки ґрунту прилипають до мастила і разом з лотом піднімаються на поверхню, що дає змогу визначити склад ґрунту дна річки. Такий лот може взяти проби ґрунту об'ємом до 100 см<sup>3</sup>. При промірах ручний лот закидають уперед проти течії і, коли лотлінь займе вертикальне положення, роблять відлік. Точність вимірювання 5-10 см [2; 3].

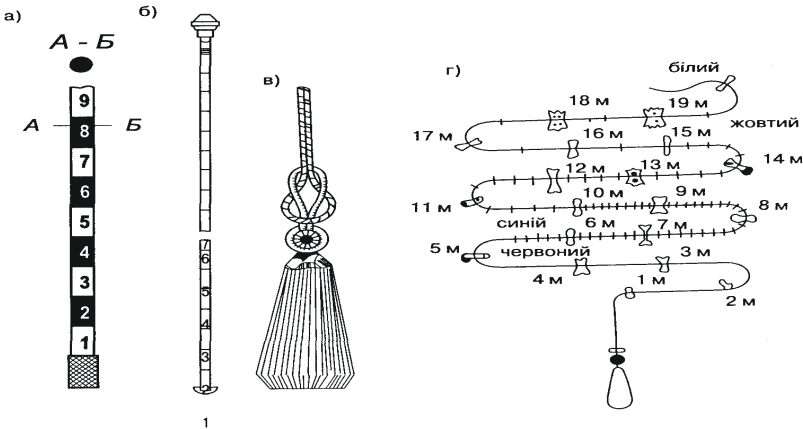


Рис. 3.1. Мірки, лот і ручний лот: а) – мірка; б) – плавуча мірка; в) – лот; г) – лот із розміченим лотлінем



При значних швидкостях та глибинах водних об'єктів для промірів використовують **механічний лот**, який складається: 1) ручної лебідки з лічильним пристроєм, яка служить для опускання і підйому лота при вимірюванні глибини; 2) троса, на якому опускається вага під час промірів; 3) груз переважно рибоподібної обтічної форми (рис. 3.2).

Вага рибоподібного груза і діаметр троса підбираються в залежності від швидкості течії: менше 1 м/с – 10-15 кг, діаметр 1 мм; 1-2 м/с – 25-50 кг, діаметр 1,5-1,8 мм; 2-3 м/с – 50-75 кг, діаметр 2-3 мм; більше 3 м/с – 75-100 кг, діаметр 3-4 мм [7].

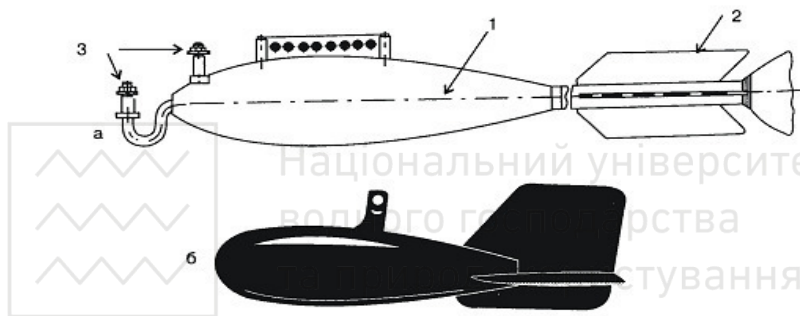


Рис. 3.2. Груз (ваги, вантаж) гідрометричний рибоподібний:  
ПІ-І (а): 1 – вісь грузу; 2 – хвостове оперення грузу;  
3 – кріплення для тросу та ГПР (б)

Для виконання промірів та інших гідрометричних робіт застосовують лебідки типу «Нева», «Луга», ГР-36 (рис. 3.3), а також морські лебідки ЛМ-006 і ЛМ-046.

Лебідка «Нева» (ГЛН—52) зручна для застосування з гідрометричного містка, а також з гідрометричної люльки; лебідка «Луга» (ГР—36) зручна для застосування з човна.

Лебідка ГР-36 має поворотну стрілу, станини, барабан для троса, опору, лічильник випущеного троса. Максимальний винос стріли від краю опори 1,20 м. Конструкція лебідки передбачає поворот стріли навколо вертикальної осі на 360 градусів, а також підйом стріли з підвішеним грузом по відношенню до площини основи від 15-60 градусів.

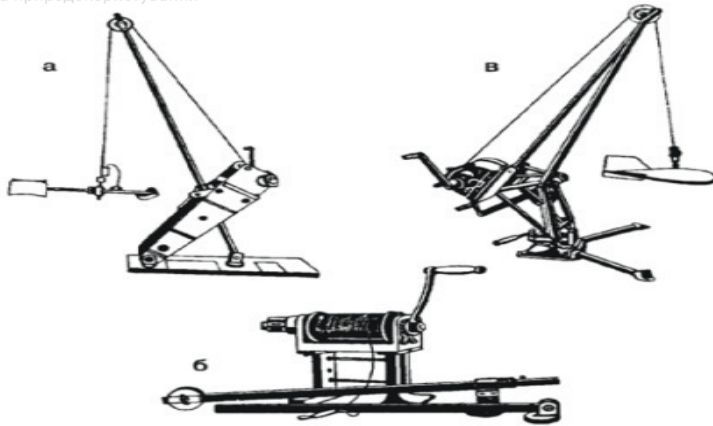


Рис. 3.3. Гідрометричні лебідки: а – «Нева»; б – «Луга»; в – ГР-36

Діаметр тросу від 2,5-3 см. Чим більша швидкість, тим більший діаметр. Вантажопідйомність її — 100 кг. Вага вантажу підбирається в залежності від швидкості течії. Застосовується на водоймах глибиною до 25 м.

При вимірюванні глибини груз за допомогою лебідки опускають до дна і визначають довжину випущеного троса. При промірах, використовуючи лот на тросі, у річках із значними глибинами і швидкістю течії води, спостерігається віднесення лота від вертикального положення, внаслідок чого проміри дають збільшене значення глибини. Для визначення дійсного значення глибини необхідно вводити поправки із знаком мінус (поправку визначають за кутом відхилення троса від вертикалі і вимірної глибини) (рис. 3.4) [2; 3].

Знаючи кут відхилення, за таблицями знаходять поправку. Визначити дійсну глибину можна також за формулою

$$h = l \cos \alpha - b, \quad (3.1)$$

де  $l$  — довжина випущеного троса, м;  $\alpha$  — кут відхилення троса від вертикалі;  $b$  — відстань від барабана лебідки до поверхні води, м. Цей спосіб визначення дійсної глибини застосовують за умови, якщо відстань від лебідки до поверхні води не перевищує 1 м (рис. 3.1, а).

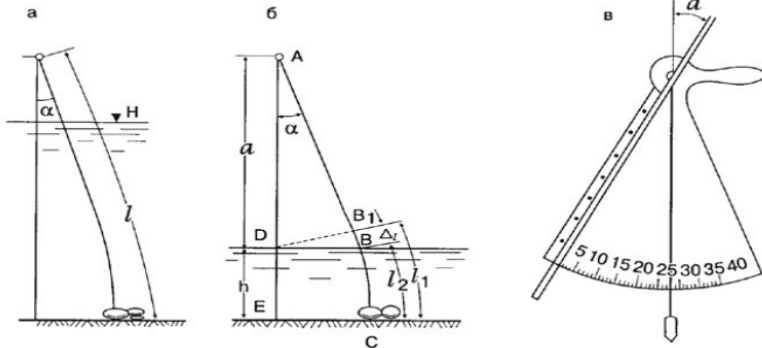


Рис. 3.4. Схеми визначення поправок на віднесення лотліня течією (а, б) і найпростіший кутомір (в)

Якщо ця відстань більша (рис. 3.1, б) поправку розраховують так :

- вимірюють відстань від точки шляхом підвішування та опускання грузу до поверхні води і відліку по лічильнику:

$$a = AD = AB_1$$

- при положенні грузу на поверхні води лічильник ставлять на нуль;

- повільно опускають груз до дна;

- роблять відлік по лічильнику ( $B_1C = l_1$  – фіктивна глибина);

- вимірюють кут відхилення троса від вертикалі  $\alpha$ .

Після цього розраховують дійсну глибину водойми  $h$ , для цього:

- визначають поправку  $\Delta_1$  до довжини надводної частини троса, користуючись таблицею поправок;

- віднімають від фіктивної глибини  $l_2$  знайдену поправку  $\Delta_1$  й отримують довжину підводної частини троса:

$$l_2 = B_1C - BB_1 = BC = l_1 - \Delta_1;$$

- для знайденої довжини підводної частини троса  $l_2$  знаходять за таблицями поправку  $\Delta_2$ ;

- визначають дійсну глибину шляхом віднімання від довжини підводної частини троса поправку  $\Delta_2$  [2; 3]:

$$h = l_2 - \Delta_2.$$

Для вимірювання кута відхилення троса від вертикалі ( $\alpha$ ) застосовують простий кутомір (рис. 3.4, в), який виготовляють з



тонкого листового металу. У нижній частині сектора наносять шкалу для відліку кутів з точністю до 1 градуса. У верхній частині сектора є отвір, через який пропущена нитка підвісу. Край сектору утворює жолоб, яким кутомір надягають на кутомірний трос, при цьому лінія нульової поділки кутоміра співпадає з напрямком троса. Кут відхилення відраховується між напрямком троса і лінією підвісу.

До **акустичних приладів** відносять *ехолоти* (або акустичні глибиноміри). Малогабаритні ехолоти використовуються при вимірюванні глибин від 0,2 до 5 м з моторних і веслових човнів. А промірний ехолот (ПЕЛ—2) – при глибинах від 0,2 до 40 м.

Ехолоти є різної конструкції: ехолоти із самописцем, ехолоти з покажчиком глибин. У ехолоті використовується п'єзоелектричний ефект або магнітострикційний ефект. На п'єзоелектричну або магнітострикційну пластину вібратора-випромінювача діє електричний струм і пластина починає коливатися, в результаті чого виникає ультразвуковий імпульс, який надходить до дна, відбиваючись від нього, приймається вібратором-приймачем з такою ж пластиною.

Акустичний метод промірів глибин і неперервного запису профілю дна ґрунтується на вимірюванні часу проходження у воді ультразвукового імпульсу, який посилає вібратор-випромінювач, а приймає відбитий від дна сигнал — вібратор-приймач (рис. 3.5).

Глибину водойми  $h$  визначають за формулою

$$h = \sqrt{\left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} + d, \quad (3.2)$$

де  $c$  — швидкість поширення ультразвуку у воді;  $\Delta t$  — час проходження ультразвукового імпульсу від вібратора-випромінювача до дна і від дна до вібратора-приймача;  $d$  — глибина занурення вібратору;  $l$  — відстань між вібраторами. В формулі (3.2) значення величин  $c$ ,  $l$  і  $d$  є відомими.



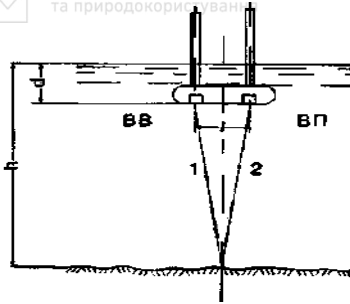


Рис. 3.5. Схема вимірювання глибини ехолотом: ВВ — вібратор-випромінювач; ВП — вібратор-приймач; 1 — прямий ультразвуковий імпульс; 2 — відбитий ультразвуковий імпульс

Для вимірювання глибин з точністю до 5 см  $\Delta t$  необхідно визначати з точністю до 1/15000 с. Кожний ехолот працює на попередньо встановленій швидкості розповсюдження ультразвуку. Швидкість ультразвуку залежить від температури і солоності води, тому у значення глибини вносять поправку

$$\Delta h = h \cdot \left( \frac{c}{c_s} - 1 \right), \quad (3.3)$$

де  $h$  — виміряна за ехолотом глибина;  $c_s$  — швидкість розповсюдження ультразвуку за паспортом ехолота;  $c$  — дійсна швидкість розповсюдження ультразвуку. Її знаходять як середньозважену величину за результатами вимірювань температури води.

Позитивними сторонами акустичного методу є: безперервний запис глибини, відносно висока точність вимірювання, висока швидкість промірів, можливість проведення промірів при засміченому дні і наявності затоплених предметів. До недоліків методу належать: несталість горизонтального масштабу записаного профілю та недостатня надійність вимірювання глибин при значній мутності води, аерації, а також при наявності водної рослинності. У практиці гідрологічних досліджень поширені такі ехолоти: РЕЛ—1М, промірний ехолот ПЕЛ—2. Сучасні ехолоти, які використовуються в Україні та закордоном мають такий же принцип роботи (рис. 3.6).

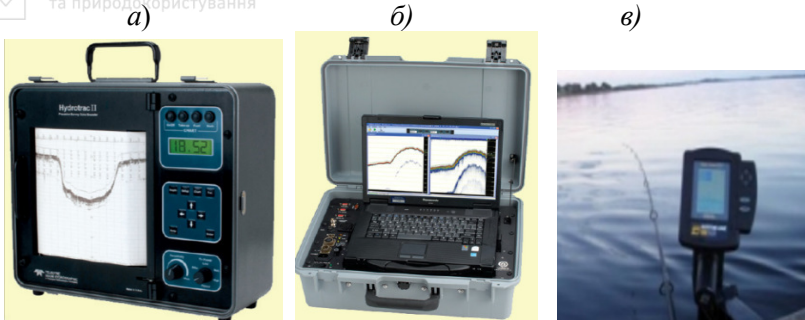


Рис. 3.6. Сучасні ехолоти: а) однопроменевий ехолот ODOM; б) EchotracCVM; в) ехолот для риболовлі

Сучасні ехолоти відображають глибину, структуру і рельєф дна, а також різні об'єкти у воді, зокрема, і рибу. При виборі сучасних ехолотів необхідно враховувати наступні характеристики: потужність передавача, контрастність і розмір екрану, чутливість приймача, ефективність перетворювача, ціну [11].

### 3.2. Способи проведення промірних робіт

При вимірюванні глибин використовують окремі точки водного дзеркала, які називаються *промірними точками* або *промірними вертикалями*. Промірні точки або вертикалі розташовують на визначених відстанях одна від одної і вони утворюють промірні ходи. Вибір способу проведення промірних робіт залежить від розмірів водного об'єкта, кількості та положення промірних точок на вертикалях, наявного обладнання, місцевих умов берегів заплави річки.

В залежності від розташування промірних ходів найбільш поширеними **способами** проведення промірних робіт є: за поперечними профілями (поперечниками), за повздовжніми профілями, за косими галсами.

При вимірюванні глибин необхідно: 1) визначити рівень води або його відмітку, не менше, ніж 2 рази перед початком і після закінчення промірів на промірному ході шляхом



нівелювання або по найближчому гідрологічному посту; 2) виміряти глибину, під якою розуміють відстань по вертикалі від поверхні води до дна. В кожній точці може бути два значення промірів, які отримані при прямому та зворотному ході; 3) визначити місце положення точки на плані або профілю (координація точки). Одночасно з промірами визначають характер ґрунту дна річки за допомогою приладів або візуально.

Для координації промірних точок на місцевості використовують розмічені металеві триси, а у інших випадках використовують кутомірні геодезичні прилади (теодоліт, мензула, секстанти).

Координація виконується безпосереднім вимірюванням відстаней рулеткою, мірною стрічкою, по тросу з розміткою, якщо проміри проводяться на річках шириною до 200-300 м і швидкістю течії до 1,5 м/с.

Трос використовують на поперечниках, закріплюють на берегах. Місце на березі, від якого відраховують відстань до промірних точок називається постійним початком. Він знаходиться на магістралі – пряма лінія, яка закріплена на місцевості та проведена паралельно напрямку течії якомога ближче до урізів води. Від нього вимірюють відстані до помірних точок ( $l$ ). А також відстані до урізу лівого і правого берегів. Постійний початок на березі відповідає місцю поперечника і його закріплюють на місцевості кілочком.

Для промірів *по розміченому тросу з човна* на поперечнику натягають розмічений через 1 м трос діаметром 3-5 мм. Кінець троса з нульовою поділкою закріплюють на палі, розташованій на магістралі, а другий кінець — на палі на протилежному березі. Вище на 3-5 м від цього троса (назвемо його промірним) натягають ходовий трос діаметром 5-6 мм. Троси натягають вручну чи за допомогою ворота, лебідки. Промірний трос натягають так, щоб він не провисав. На річках шириною понад 100 м необхідно на середині річки ставити на якір човна, або поплавок для підтримання троса. Якщо трос натягнутий не від магістралі, то необхідно виміряти відстань від магістралі до місця, де закріплений трос.

На малих річках шириною до 25 м замість тросу на промірному поперечнику натягають капронову (чи з іншого



матеріалу) мотузку діаметром 8-12 мм, а при промірах у брід – мірну стрічку або рулетку. Гідрометричні створи на малих річках обладнують для гідрометричних робіт містками з яких виконують проміри водного перерізу. У цих випадках вздовж містка від постійної точки на березі натягують рулетку або сталеву стрічку, яка використовується для визначення положення (відстані) урізів води та промірних точок від постійного початку. На річках з крутими берегами іноді застосовують гідрометричні люльки для обладнання гідрометричного створу. В цьому випадку для визначення положення промірних точок паралельно їздовому тросу натягують мірний трос, який розмічено маркерами через 1-2 м.

Координація промірних точок на місцевості проводиться за допомогою засічок промірних точок з берега кутомірними геодезичними приладами (теодоліт, мензула). Засічки проводять одним або двома кутомірними інструментами (рис. 3.7) після виконання підготовчих робіт (прокладання магістралі, розбивання поперечників, планова зйомка ділянки річки). При використанні одного кутомірного інструменту на магістралі вибирають місце його стоянки. Воно вибирається з таким розрахунком, щоб з однієї стоянки можна було виконати засічки для ряду поперечників вверх і вниз за течією. Розташування магістралі, промірних створів і стоянок інструменту, повинно бути таким, щоб кут між напрямком поперечника та променем візування був не менше 30 градусів. При виконанні засічок двома кутомірними інструментами, на магістралі призначається базис, довжину якого вимірюють і кутомірні інструменти встановлюються на кінцях базису. Відстань до промірних точок вимірюють по перпендикулярі до магістралі, яка буде давати значення  $L$ . Для кожної промірної точки визначають один або два горизонтальних кути  $\alpha$  між промірною точкою та магістраллю. Відстань від постійного початку до промірної точки визначається за співвідношенням  $l=L \cdot \operatorname{tga}$ , де  $\alpha$  — горизонтальні кути між напрямком на промірну точку і магістраллю;  $L$ — довжина базису (рис. 3.7).

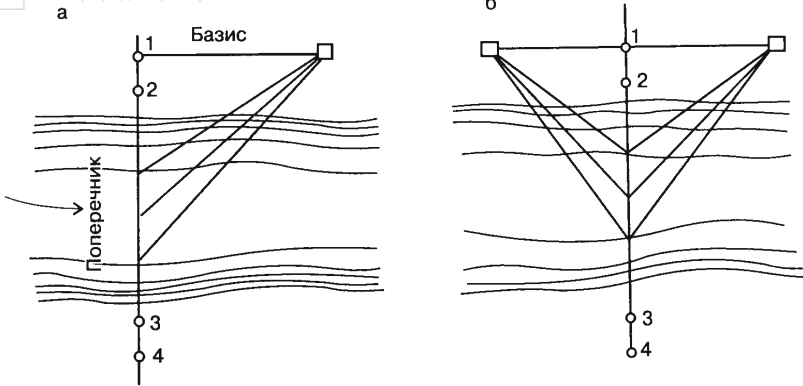


Рис. 3.7. Схема засічок промірних вертикалей на поперечнику одним (а) і двома (б) кутомірними інструментами: 1, 2, 3, 4 — створні знаки

### Проміри по поперечних профілях (поперечниках)

дають змогу точно визначити положення промірних точок у плані і детально виявити розподіл глибин у заданому напрямку. Недоліком цього способу є його трудомісткість і неможливість застосування на великих річках із великою швидкістю течії води.

Проведення промірних робіт за поперечними профілями полягає у прокладанні поперечних перпендикулярних магістралей, поперечники закріплюють на місцевості. Відстань між поперечниками може бути від 1/2 до 1/3 ширини річки, якщо ширина річки менше 100 м, і через 1/3 до 1/4 ширини річки до 1000 м.

Кількість промірних точок на кожному поперечнику (промірній вертикалі) на річках завширшки до 50 м вибирають 10-20, при ширині річки 100-300 м – 20-30 і при ширині до 1000 м – 40-50.

Під час промірів човен по ходовому тросу пересувається від одного берега до іншого; навпроти міток (відповідних) промірного троса вимірюють глибину річки і фіксують характер дна. Дані заносять у журнал (табл. 3.1) і відмічають на водомірному посту рівні води на початку і в кінці промірів на кожному поперечнику.



На гідрометричних створах і у створах водомірних постів проміри здійснюють двічі. Розходження між обома промірами не повинні перевищувати 2% [2; 3; 4; 6].

Таблиця 3.1

Журнал промірів глибин (створ I-I)

Номер	Відстань від магістралі, м	Глибина, м			Кут відхилення троса	Поправка на відхилення троса, м	Виправлена глибина, м	Відмітка дна, м	Ґрунт дна
		1-й хід	2-й хід	Середнє					

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

Засічки промірних точок здійснюють або по розміченому тросу, або за допомогою одного чи двох кутомірних інструментів (рис. 3.7).

При промірах із засічками за допомогою одного або двох кутомірних інструментів на великих річках намічають і закріплюють створними знаками промірні поперечники. Під час промірів човен чи катер пересувається від одного берега до другого по поперечнику, орієнтуючись по лінії створних знаків. Засічки промірних вертикалей роблять за сигналом або з човна, або за сигналом від кутомірного інструменту. У першому випадку стежать через трубу інструменту за човном і в момент проміру за сигналом із човна роблять засічку. У другому випадку розмічають на лінії створу місця промірів, у яких виконуються вимірювання за сигналом у момент, коли човен вийде на створі у місце промірної точки.

Проведення промірних робіт за **повздожніми профілями** здійснюють при великих швидкостях течії і значних глибинах. Повздожні профілі намічають рівномірно по ширині річки, приблизно через 1/10 – 1/20 її ширини. Положення промірних точок при цьому фіксують двома кутомірними приладами з берега (рис. 3.8).

Проведення промірних робіт за **косими галсами** використовують при значних швидкостях течії води або коли



необхідно виконати проміри на великих ділянках річки. При виконанні промірних робіт за косими галсами (рис. 3.8, а) човен, що зноситься течією, перетинає річку від берега до берега під кутом 15-30 градусів. Галси назначають через 1/4 – 1/2 ширини річки. Засічки промірних точок здійснюють двома кутомірними інструментами.

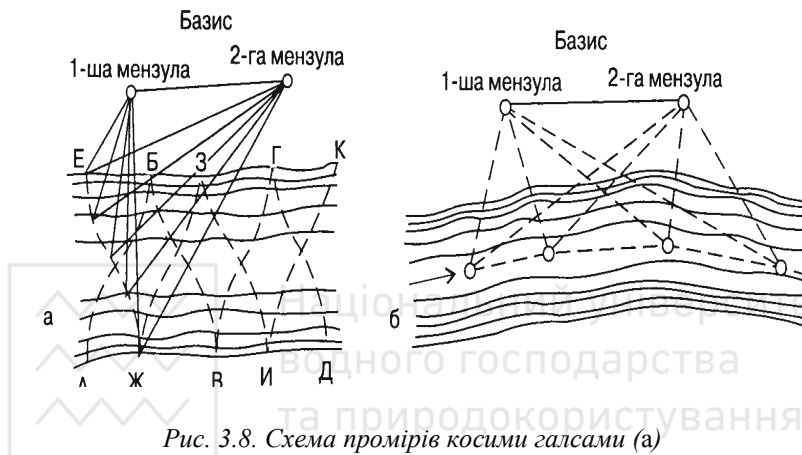


Рис. 3.8. Схема промірів косими галсами (а)  
і за поздовжніми профілями (б)

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 за поперечними профілями, або косими галса комбінують з промірами за поздовжніми профілями.

### 3.3. Обробка матеріалів промірних робіт

Обробка матеріалів промірних робіт включає: 1) первинну обробку результатів промірів; 2) побудову поперечних перерізів русла; 3) обчислення морфометричних характеристик русла; 4) побудову поздовжніх перерізів русла та обчислення середніх та середньозважених похилів дна та поверхні води; 5) складання плану річки, озера в ізобатах або горизонталях.



**Первинна обробка** включає в себе: визначення відстані від постійного початку на магістралі до кожної промірної точки, якщо координація проведена кутомірним інструментом; введення поправок на відхилення траса, якщо вимірювання проводилися механічним лотом; введення поправок в покази ехолота на температуру води; визначення середнього значення глибини на промірній вертикалі, якщо визначення проводилися в два ходи; визначення відміток дна для кожної промірної вертикалі, вона дорівнює різниці відміток рівня води і глибини з урахуванням поправок; встановлення відмітки рівня води на початку і в кінці промірів та за необхідності визначення поправки до вибраного робочого горизонту (при невеликих змінах рівня води за час промірів – 1-5 см для промірів міркою і 5-10 см для лота – за робочий горизонт приймають середнє із спостережень без введення поправок); перевірку записів, які характеризують ґрунт дна, а при зимових промірах – записів про товщину снігу, льоду, шуги та ін.

**Побудову поперечного перерізу русла річки** виконують на міліметровому папері (рис. 3.9). У прямокутних координатах відкладають виміряні глибини і відповідні їм відстані від постійного початку. На профілі показують положення поверхні води, відмітку рівня води в метрах. Кожному рівню води в річці відповідає свій водний переріз. При льодовому покриві верхньою межею площі поперечного перерізу вважають лінію рівня води в ополонках. Поперечний переріз русла визначає пропускну здатність річки і впливає на розподіл швидкостей, похилів, напрямів течії та інші гідравлічні елементи потоку.

Масштаби для побудови поперечного профілю повинні бути для глибин у 5-20 разів крупніше, ніж масштаби для відстаней від постійного початку. Масштаб вибирають так, щоб на рисунку найбільша глибина відповідала у 6-10 см. Масштаби вибирають кратні 1; 2; 5. По горизонтальній осі відкладають відстані від постійного початку (базису, магістралі, репера) до промірних вертикалей, а по вертикальній – глибини або відмітки дна. На профілі вказують дату промірів і відмітку робочого рівня води, а внизу під профілем – відстані від постійного початку, відмітки дна, характер ґрунту.





До морфометричних характеристик русла річки відносять: площу водного перерізу ( $\omega$ , м<sup>2</sup>); ширину річки ( $B$ , м); середню глибину ( $h_{сер}$ , м); максимальну глибину ( $h_{макс}$ , м); змочений периметр ( $P$ , м); гідравлічний радіус ( $R$ , м).

Площу водного перерізу визначають як суму площ трикутників та трапецій між промірними вертикалями (рис. 3.10) за формулою

$$\omega = \omega_0 + \omega_1 + \dots + \omega_n, \quad (3.4)$$

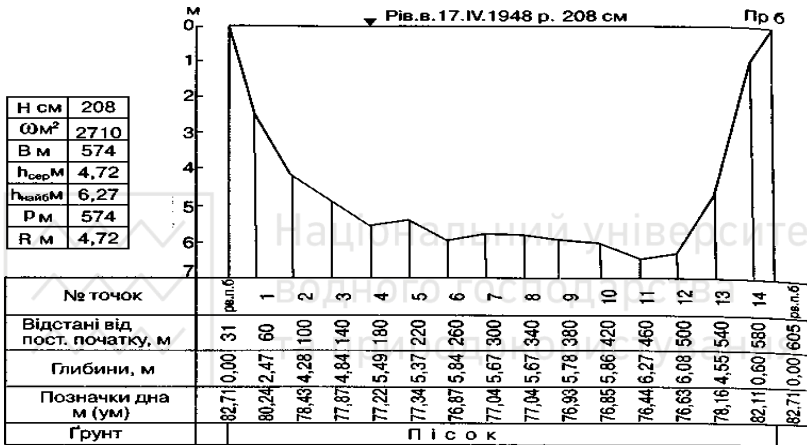


Рис. 3.9. Поперечний переріз (профіль дна) річки

де  $\omega_0, \dots, \omega_n$  — площі водного перерізу між промірними вертикалями, м<sup>2</sup>. На рис. 3.10 глибина біля берега рівна нулю, тому величини  $b_0$  та  $b_n$  на рисунку не показано.

У випадку, якщо глибина біля берега не рівна нулю, то вона враховується при визначенні площі живого перерізу між берегом і першою швидкісною вертикаллю або між останньою швидкісною вертикаллю і протилежним берегом [7, рис. 153].

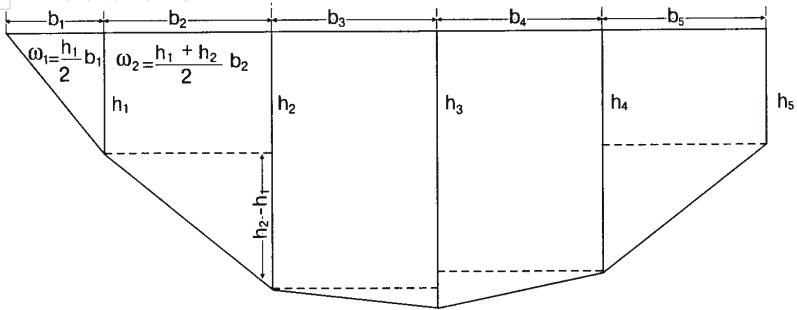


Рис. 3.10. Схема обчислення площі водного перерізу і довжини змоченого периметра

Площу водного перерізу русла річки можна записати у вигляді

$$\omega = \frac{1}{2} \cdot b_0 \cdot h_1 + \left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right) \cdot b_1 + \left(\frac{h_2 + h_3}{2}\right) \cdot b_2 + \dots + \left(\frac{h_{n-1} + h_n}{2}\right) \cdot b_{n-1} + \frac{1}{2} h_n b_n, \quad (3.5)$$

де  $b_0$  – відстань між берегом (або межею мертвого простору, якщо він є) і першою швидкісною вертикаллю, м;  $b_n$  – відстань між останньою промірною вертикаллю та берегом, м;  $b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$  – відстані між промірними вертикалями, м;  $h_1, \dots, h_n$  – виміряні глибини на промірних вертикалях, м.

Ширину річки  $B = l_n - l_0$ , де  $l_n, l_0$  – відстань від постійного початку лівого і правого берегу, м.

Середню глибину визначають як відношення між площею водного перерізу річки та шириною річки

$$h_{\text{ср.}} = \frac{\omega}{B}. \quad (3.6)$$

Максимальну глибину  $h_{\text{макс.}}$  вибирають за найбільшим значенням з виміряних глибин.

Змочений периметр визначається як сума гіпотенуз прямокутних трикутників між промірними вертикалями (рис. 3.10)

$$P = \sqrt{b_0^2 + h_1^2} + \sqrt{b_1^2 + (h_2 - h_1)^2} + \sqrt{b_2^2 + (h_3 - h_2)^2} + \dots + \sqrt{b_{n-1}^2 + (h_n - h_{n-1})^2} + \sqrt{b_n^2 + h_n^2}, \quad (3.7)$$



де  $b_0$  – відстань між берегом (або межею мертвого простору, якщо він є) і першою швидкісною вертикаллю, м;  $b_n$  – відстань між останньою промірною вертикаллю та берегом, м;  $b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$  – відстані між промірними вертикалями, м;  $h_1, \dots, h_n$  – виміряні глибини між промірними вертикалями, м;

Гідравлічний радіус визначається як співвідношення між площею водного перерізу річки та змоченим периметром

$$R = \frac{\omega}{P}. \quad (3.8)$$

Для складання **повздожнього профілю річки** використовують дані нівелювання і промірів русла річки, зведених до умовного рівня.

Під час промірів русла річки робочий рівень води може зменшуватися або збільшуватися. Для порівняння результатів промірів потрібно дані промірів звести до одночасного (миттєвого) умовного (зрізаного) рівня.

Для цього потрібно на всіх поперечниках, де під час промірів було визначено відмітки робочого рівня, одночасно (за сигналом) забити на урізах води невеликі палі на рівні з поверхнею води. Нівелюванням від репера визначають відмітки верху цих палей. Це й будуть відмітки одночасного умовного рівня на всій ділянці промірних робіт. Щоб обчислити величину зрізки глибини  $\Delta H$ , треба визначити різницю між відмітками робочого  $H$  і умовного  $h$  рівнів, тобто  $\Delta H = H - h$ . Цей спосіб приведення до одночасного рівня застосовують для ділянок невеликої довжини, як це буває при гідрометричних роботах. Якщо ділянка дуже велика, то її розбивають на кілька коротких, одночасні рівні на яких ув'язують нівелюванням.

Щоб побудувати **план ділянки річки в ізобатах** або горизонтелях, зведені до умовного рівня глибини чи відмітки дна на кожному поперечнику наносять на планшет. Якщо русло річки зображується в горизонтелях, то лінії урізів відповідають відміткам умовного (зрізаного) рівня води. Якщо план будується в ізобатах, то лініями урізів будуть ізобати з нульовими глибинами. Виписавши на плані відмітки дна (для плану в горизонтелях) або глибини (для плану в ізобатах) за всіма промірними перерізами, проводять ізобати



або горизонталі шляхом прямолінійної інтерполяції між промірними точками (рис. 3.11, 3.12).



Рис. 3.11. План ділянки русла в ізобатах на плані

Відстань між ізобатами чи горизонталями встановлюють залежно від масштабу зйомки і глибин у річці чи водоймі. Наприклад, при масштабі 1:1000 і 1:2000 – через 0,25 або 0,50 м; при масштабі 1:5000 через 0,50 м; при масштабі 1:10 000 через 1 м і при масштабі 1:25 000 – через 2 м.

На плані через точки максимальних глибин на поперечниках проводять лінію найбільших глибин.

Побудову поперечного перерізу водного потоку, визначення його морфометричних характеристик та обробку результатів промірів глибин розглянемо на прикладі задач.

**Задача 1.** Побудувати поперечний переріз водного потоку за вихідними даними табл. 3.2 та визначити: 1) відмітки дна в промірних точках; 2) площу водного перерізу; 3) ширину річки; 4) середню глибину водного перерізу; 5) змочений периметр; 6) гідравлічний радіус.

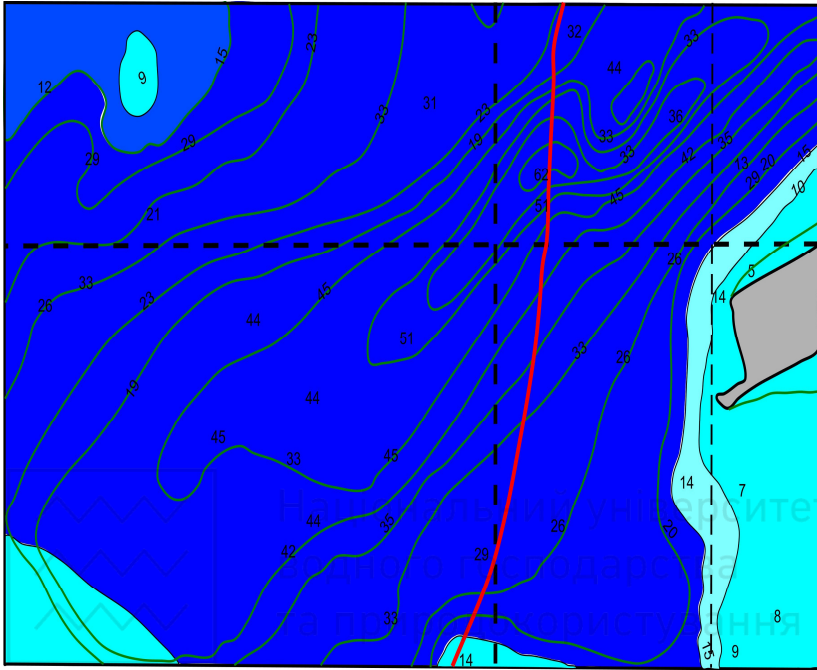


Рис. 3.12. План ділянки русла в ізобатах на карті р. Дніпро

**Розв'язок.** Поперечний переріз водного потоку будують на міліметровому папері формату А-4. По вертикалі відкладають глибини, а по горизонталі відкладають відстані від постійного початку до промірних точок.

Масштаби побудови вибирають кратними 1; 2 або 5. Вертикальні масштаби глибин повинні бути крупніші за горизонтальні масштаби відстаней в 5-20 разів.

Переріз будують за даними граф 1, 2, 3 таблиці 3.2. Лінію дна окреслюють прямими лініями від однієї промірної вертикалі до іншої.

На перерізі урізи води з'єднують горизонтальною лінією над якою виписують рівень води в абсолютних відмітках: ▼РРВ 202,00 м абс (рис. 3.13).



Таблиця 3.2

Обробка результатів промірів глибин та обчислення площ  
живого перерізу

Номер вертикалей	Відстань від постійного початку, $b$ , м	Виміряна глибина, $h$ , м	Середня глибина, $h_{с\text{ерп}}$ , м	Відстань між промірними вертикалями, м	Площа між промірними вертикалями, $\omega$ , м <sup>2</sup>	Площа між швидкісними вертикалями, $\omega$ , м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
Уріз правого берега	10	0			1,68	
1	14	0,85	0,42	4		5,68
2	18	1,15	1,00	4	4,00	
3	22	1,30	1,22	4	4,88	13,68
4	26	1,80	2,20	4	8,80	
5	30	2,10	1,95	4	7,80	16,80
6	34	2,40	2,25	4	9,00	
7	38	2,20	2,30	4	9,20	17,40
8	42	1,90	2,05	4	8,20	
9	46	1,40	1,65	4	6,60	11,80
10	50	1,20	1,30	4	5,20	
11	54	0,90	1,05	4	4,20	6,45
Уріз лівого берега	59	0	0,45	5	2,25	
Сума	-	-	-	-	71,81	71,81

1. Відмітки дна в промірних точках обчислюють як різницю абсолютної відмітки рівня води та величини глибин в промірних точках (рис. 3.13). Наприклад, для урізу лівого берега:  $202,00 - 0,85 = 201,15$  м абс.

Основні морфометричні характеристики, розраховані за формулами (3.4-3.8).

2. Площа водного перерізу – площа перпендикулярна до осередненого напрямку руху потоку при відкритому руслі обмежена профілем русла і рівнем води. При льодовому покриві за верхню межу приймається нижня поверхня льоду.

Площу водного перерізу визначають аналітичним способом.

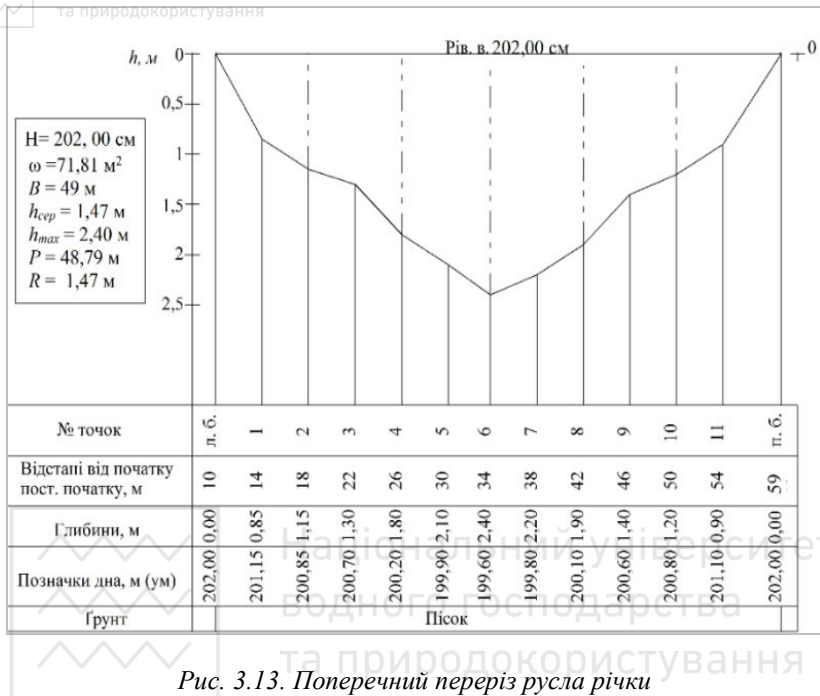


Рис. 3.13. Поперечний переріз руслу річки

За достатньої кількості промірних вертикалей вважають, що лінія дна між промірними вертикалями змінюється по прямій, і відповідно, площа між промірними вертикалями може бути розрахована як сума площ трикутників та трапецій.

Площа водного перерізу між промірними вертикалями (граф 6, табл. 3.2) може бути розрахована як добуток глибин між промірними вертикалями (граф 3) та відстаней між ними (граф 5).

Загальну площу водного перерізу річки визначають як суму графи 6, в даному випадку  $\omega = 71,81 \text{ м}^2$ .

3. Ширина річки – це відстань між урізами по поверхні води для даного поперечного перерізу. Ширина річки визначається як різниця відстаней від постійного початку між урізами води:  $B = 59 - 10 = 49 \text{ м}$ .



4. Середня глибина водного перерізу обчислюється як відношення площі водного перерізу до ширини річки:  $h_{сер} = 71,81/49 = 1,47$  м.

5. Змочений периметр – довжина лінії дна потоку на профілі поперечного перерізу, яка проходить від урізу до урізу. За наявності льоду до довжини змоченого периметра додають довжину нижньої поверхні льоду. Величина змоченого периметра обчислюється як сума гіпотенуз прямокутних трикутників. Гіпотенузи визначають як корені квадратні із суми квадратів катетів. Катетами є різниця глибин між промірними вертикалями та відстані між ними.

Змочений периметр також можна визначити графічно, якщо виміряти довжину лінії дна на профілі і перевести її в метри, враховуючи масштаб відстаней від постійного початку. В даному прикладі змочений периметр дорівнює  $P = 48,79$  м.

6. Гідравлічний радіус – це відношення площі поперечного перерізу русла до змоченого периметра. В даному прикладі  $R = 71,81 / 48,79 = 1,47$  м. Отримали, що  $R = h_{сер} = 1,47$  м.





## РОЗДІЛ 4. ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ ТЕЧІЇ ВОДИ

### 4.1. Характер розподілу швидкостей у потоці

У природі існує два види руху води – *ламіна́рний* і *турбулентний*. Ламінарний рух властивий переважно підземним водам. У природних потоках спостерігається майже завжди турбулентний рух води.

Рух води у річках носить турбулентний характер. Швидкість в потоці в будь-якій точці може змінюватися за величиною і напрямком. Причиною турбулентного перемішування є виникнення вихорів на виступах шорсткості русла. Ці вихори відриваються від виступів і проникають у товщу потоку. Швидкісне поле потоку являє собою складну картину, яка безперервно змінюється у часі.

*Швидкістю течії води в потоці* називається віддаль, на яку переміститься за одиницю часу в процесі руху частинка або деякий об'єм води. У зв'язку з наявністю пульсації швидкостей (рис. 4.1) розрізняють миттєву та місцеву швидкість.

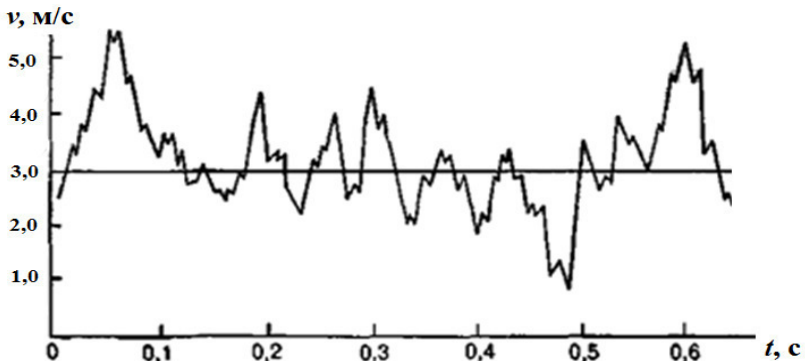


Рис. 4.1. Графік пульсації повздовжніх швидкостей течії води

Швидкість потоку в даній точці визначається за виразом



$$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_t v dt, \quad (4.1)$$

де  $\int_t v dt$  — площа графіка пульсації швидкості;  $T$  — період усереднення, с.

Під час гідрометричних робіт вимірюють місцеві швидкості потоку, тому вимірювання в одній точці має тривати не менше як 100 с. При значній турбулентності потоку час вимірювання збільшується. Надалі будемо розглядати місцеві швидкості потоку і позначати їх буквою ( $v$ ) без риски.

Розподіл швидкостей течії води в річному потоці залежить від морфологічних особливостей та шорсткості русла, похилу водної поверхні потоку. Розглянемо розподіл швидкостей по глибині потоку. Графік розподілу швидкостей по глибині потоку (від поверхні води до дна) називається *епюрою швидкостей* (рис. 4.2).

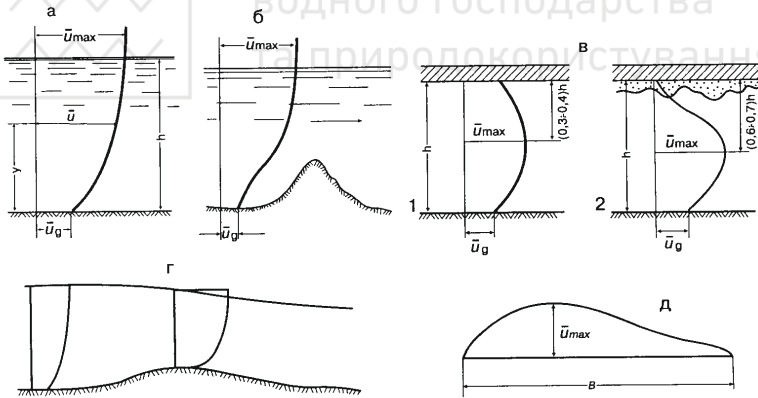


Рис. 4.2. Епюри швидкостей течії: а) на вертикалі; б) на вертикалі біля перешкоди; в) на вертикалі при льодовому покриві (1) і при шузі (2); г) на вертикалі від плеса до перекату; д) поверхневих швидкостей по ширині річки

Для відкритого русла 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 отримаємо середню швидкість на вертикалі ( $v_e$ ). Середня швидкість на вертикалі виражається залежністю

$$v_e = \frac{1}{h} \int_0^h v dh. \quad (4.2)$$

Середня швидкість на вертикалі знаходиться близько  $0,6h$  від поверхні води.

При наявності льодового покриву найбільша швидкість переважно спостерігається на (0,3-0,4) глибини від поверхні води, а коли крім льоду є ще й шуга, то максимальна швидкість буде на (0,6-0,7) глибини від поверхні води (рис. 4.2).

Розподіл швидкостей по живому перерізу річки можна зобразити у вигляді *ізотак* – ліній рівних швидкостей (рис. 4.3).

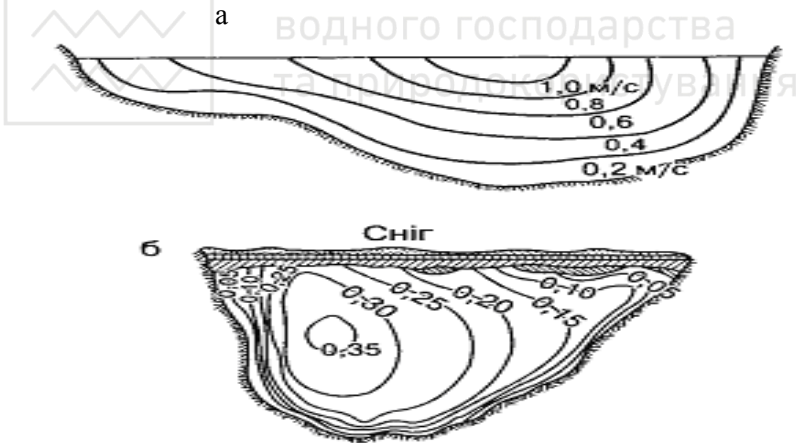


Рис. 4.3. Ізотахи у відкритому руслі (а) і під льодовим покривом (б)

Для відкритого русла ізотахи мають вигляд незамкнених ліній. Найбільші швидкості мають місце на поверхні потоку. При наближенні до берегів та дна швидкості течії зменшуються.



При наявності льодового покриву частина ізотак замкнена, а найбільша швидкість знаходиться ближче до середини потоку.

## 4.2. Методи та прилади для вимірювання швидкостей течії води

Існує багато методів і приладів для вимірювання швидкостей течії води, дія яких ґрунтується на різних фізичних принципах. Методи та прилади для вимірювання швидкостей течії води при гідрометричних роботах наведено на схемі (рис. 4.4) [2; 7].



Рис. 4.4. Методи і прилади для вимірювання швидкостей течії води (при гідрометричних роботах)

При гідрометричних роботах використовують такі основні методи вимірювання швидкостей течії води: метод, що ґрунтується на фіксації кількості обертів лопатевого гвинта; метод, що ґрунтується на фіксації величини швидкісного



напору; метод, що ґрунтується на фіксації величини силової дії потоку; метод, що ґрунтується на принципі теплообміну; метод, що ґрунтується на фіксації часу наповнення приладу водою.

Сьогодні також використовується метод, який базується на застосуванні ультразвуку. При розповсюдженні ультразвукових коливань у рухомій воді швидкість ультразвуку відносно нерухомої системи координат дорівнює векторній сумі швидкості звуку та швидкості самого середовища.

У переважній більшості вимірювання швидкості течії при гідрометричних роботах на водотоках виконується гідрометричними вертушками. Рідше використовуються поплавки при вимірюванні течії води, але вони широко використовуються при вимірюванні аерометодами.

### 4.3. Гідрометричні поплавки

Принцип вимірювання швидкостей течії полягає у визначенні відстані  $L$ , яку поплавок проходить разом з водою за час  $t$ . Швидкість  $v$  визначається за формулою

$$v = \frac{L}{t}, \text{ м/с}, \quad (4.3)$$

де  $L$  – відстань між створами, 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. Для невеликих річок шириною до 100 м поплавками можуть бути кружальця дерева, скріплені навхрест дощечки, частково наповнена водою пляшка з яскравим прапорцем тощо (рис. 4.5). Товщина кружальця приймається 3-5 см, діаметр 15-30 см. Вимірювання швидкості поверхневими поплавками проводять тоді, коли немає вітру, а також застосовуються тоді, коли швидкості дуже маленькі; при максимальних і мінімальних рівнях води; у випадках, якщо є визначена середня швидкість на даній ділянці.

Для вимірювання швидкостей течії вибирають ділянки річки довжиною не менше 40-50 м.

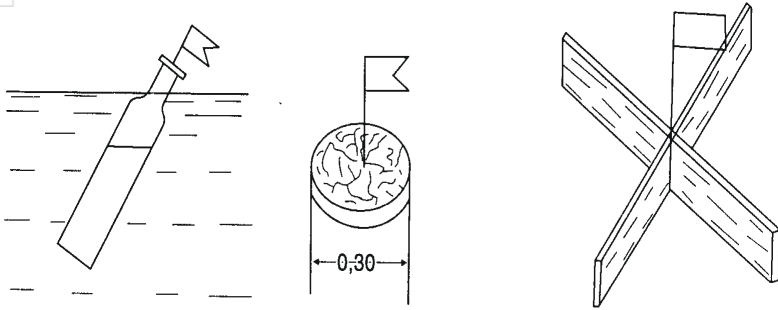


Рис. 4.5. Поверхневі поплавки

Виміряну швидкість відносять до середини ділянки в місці перетину поперечного створу поплавком.

Глибинні полавки застосовуються для вимірювання швидкості та напрямку течії на деякій глибині. Вони складаються із з'єднаних тонким шнуром поверхневого поплавка і нижнього, власне глибинного, зануреного на глибину ( $h$ ) (рис. 4.6).

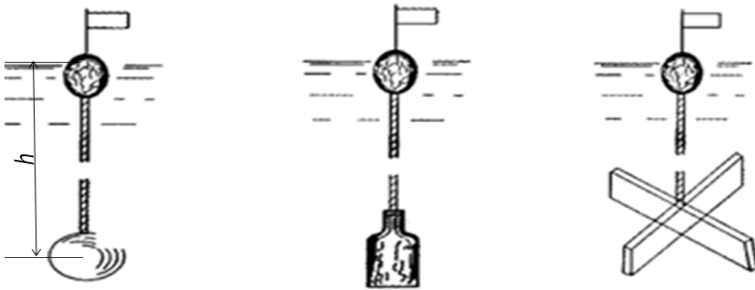


Рис. 4.6. Глибинні полавки

Верхній поплавок виготовляється з корка, нижні полавки – з дерев'яних кулек, діаметром 4-5 см, проварених в оліфі, або з скляної пляшечки, частково заповненої водою, або з двох целулоїдних пластинок, з'єднаних навхрест.



Верхній поплавок водночас є вказівником і повинен мати необхідну плавучість для підтримання нижнього поплавка на глибині  $h$ .

Верхній поплавок набагато менший за нижній і тому він показує лише місце розташування нижнього, глибинного поплавка. Тому таким поплавком вимірюється швидкість течії на глибині  $h$  занурення нижнього поплавка.

Глибинні поплавки, які показані на рис. 4.6 застосовують при вимірюванні малих швидкостей течії, менше 0,15 м/с, які недостатньо точно вимірюються гідрометричною вертушкою. Такі поплавки застосовують при вимірюванні витрат води, а також при вимірюванні меж мертвого простору.

*Поплавки-інтегратори* використовують для вимірювання середньої швидкості на вертикалі (рис. 4.7). Як поплавки-інтегратори використовують дерев'яні, целулоїдні або інші легкі кульки діаметром 3-4 см з невеликим кільцем, кульку прикріплюють ниткою до штанги. Потім штангу з кулькою ставлять на дно на даній вертикалі. Для вимірювання швидкості обривають нитку, до якої прив'язано кульку, і в цей момент включають секундомір. У момент появи кульки на поверхні секундомір зупиняють.

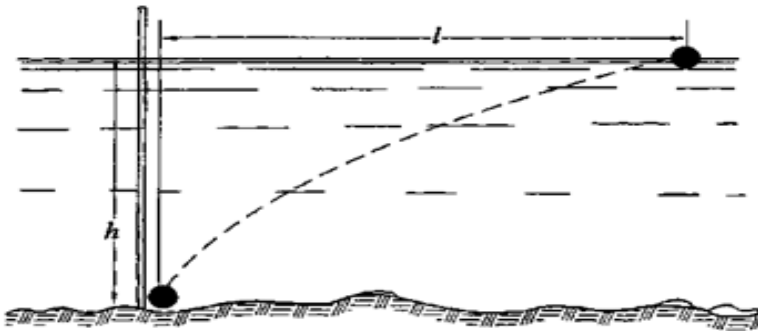


Рис. 4.7. Поплавко-інтегратор

Для вимірювання швидкості течії визначають відстань від даної вертикалі до точки появи поплавка на поверхні води  $l$  і час випливання поплавка  $t$ .



Тоді середня швидкість течії на вертикалі дорівнюватиме

$$v_{\text{сеп}} = \frac{v_1}{h} l, \quad (4.4)$$

де  $v_1$  – швидкість спливання поплавка у стоячій воді, м/с;  
 $h$  – глибина на даній вертикалі, м.

Швидкість вертикального підняття поплавка  $v_1$  практично є постійною величиною і визначається шляхом випробувань у стоячій воді.

З формули 4.4 видно, що для визначення середньої швидкості на вертикалі необхідно виміряти глибину на вертикалі  $h$  і відстань від даної вертикалі до точки появи поплавка на поверхні води  $l$ .

Поплавки-інтегратори застосовують при малих (до 0,2 м/с) швидкостях течії води. Для вимірювання швидкостей намічають на гідрометричному створі 5-10 швидкісних вертикалей. На кожній вертикалі поплавков пускають 3-4 рази. За розрахункову величину швидкості приймають середню величину з усіх заміряних швидкостей на даній вертикалі.

#### 4.4. Гідрометричні вертушки

Винахід гідрометричної вертушки приписують німецькому гідротехніку Рейнгард Вольтману, який видав у 1790 році працю «Теорія і застосування і використання гідрометричних вертушок».

*Гідрометрична вертушка* є найбільш поширеним приладом для вимірювання швидкостей течії води, який складається з лопатевого гвинта або ротора, осі, на якій обертається лопатевий гвинт або ротор, корпусу вертушки, лічильно-контактного механізму, стабілізатора напрямку.

Вертушки класифікуються за напрямом осі обертання, будовою лопатевого гвинта або ротора та за будовою контактно-лічильного механізму, а також за способом занурення вертушки у воду.

*За напрямом осі обертання розрізняють* вертушки з горизонтальною та вертикальною осями (рис. 4.8).



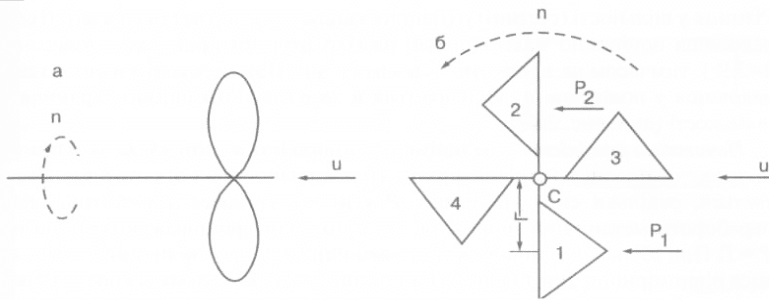


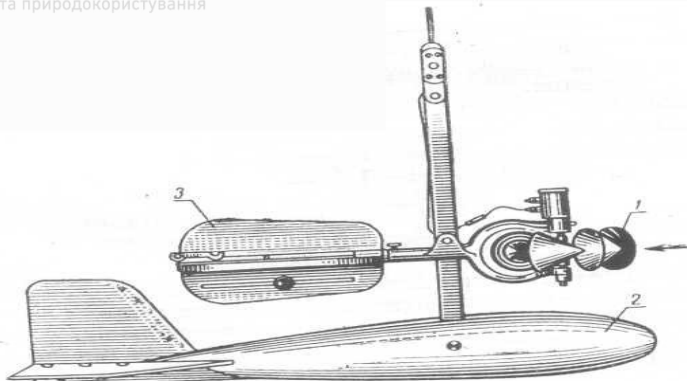
Рис. 4.8. Схема конструкції гідрометричних вертушок:

а) з горизонтальною віссю обертання;

б) з вертикальною віссю обертання:  $n$  – кількість обертів лопатевого гвинта за одиницю часу;  $u$  – швидкість течії води; 1, 2, 3, 4 – чашки ротора гідрометричної вертушки з вертикальною віссю обертання;  $P_1$ ,  $P_2$  – це сили, що діють на чашку, повернуту своєю зовнішньою поверхнею до течії води ( $P_1$ ) та відповідно сила, що діє на чашку, повернуту внутрішньою поверхнею до течії ( $P_2$ )

До перших відносять вертушки Ж-3 (Жестовського), ГР-55, ГР-21, ГР-21М, ГР-11, ГР-99, ГР-116, ВБ-52, ВБ-61 та інші, до других – вертушки типу Прайса, Бахірева (САНПІ) тощо. За кордоном, зокрема у США, широко використовуються гідрометричні вертушки з вертикальною віссю робочого колеса з чашковим ротором. До таких вертушок відноситься гідрометрична вертушка Прайса (рис. 4.9). Вона складається з корпусу, ротора, хвоста. Вертушки даного типу мають недолік — при повороті вертушки у різні сторони відносно напрямку вектору швидкості потоку, покази не відповідають закону косинуса.

До гідрометричних вертушок з вертикальною віссю та чашковим ротором також відноситься вертушка типу Бахірева (САНПІ), яка являє собою покращену конструкцію вертушки Прайса. Перевагою вертушки є покращені умови підходу води до ротора.



*Рис. 4.9. Гідрометрична вертушка Прайса:  
1 – чашковий ротор; 2 – груз; 3 – хвостове оперення*

За будовою лопатевого гвинта або ротора виділяють дві групи вертушок: з лопатевим гвинтом, який утворено гвинтовою поверхнею; з ротором, який складається з конусоподібних чашок, або крильчатки (морська вертушка ВМ-М). Більшість сучасних вертушок обладнано лопатевими гвинтами, які утворені гвинтовою поверхнею з параболічною утворюючою.

За будовою контактно-лічильного механізму розрізняють: вертушки з механічним лічильником (ВМ-М) та вертушки з електричною сигналізацією. Більшість сучасних вертушок мають електричну сигналізацію.

За способом занурення вертушки у воду більшість сучасних вертушок є універсальними.

Сучасні прилади та обладнання вимірювання швидкостей течії води, які використовуються за кордоном та в Україні («ІСП-1М») показано на рис. 4.10.

Більш детально розглянемо прилади та обладнання вимірювання швидкості течії води на річках, які використовуються Державною гідрометеорологічною службою України.



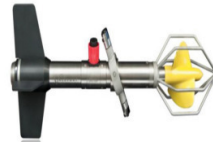
OTT



C2C

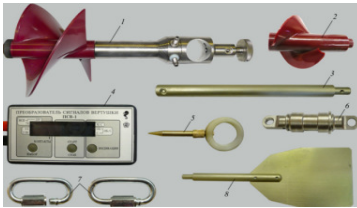


31RS-485



Valeport model

106



«ІСП-1М»



MKPC

Рис. 4.10. Сучасні прилади та обладнання вимірювання швидкості течії води

Найчастіше для вимірювання швидкостей течії води у річках використовують гідрометричну вертушку типу ГР-21М (рис. 4.11). У даній вертушки покращена форма лопатевого гвинта, конструкція деяких елементів ходової частини, форма стабілізатора дозволяє їй бути більш стійкою у водному потоці. Вертушка даного типу складається з таких основних частин: 1) ходова частина з лопатевим гвинтом і лічильно-контактним механізмом; 2) корпуса вертушки; 3) стабілізатора напрямку; 4) сигнального пристрою. Ходова частина є головним вузлом вертушки, який складається з осі вертушки, лопатевого гвинта, лічильно-контактного механізму.

Лопатевий гвинт в результаті силової дії потоку обертається, що передається на лічильно-контактний механізм. Діаметр лопатевого гвинта 120 мм. Вертушка у своєму комплекті має два гвинта: гвинт № 1 – основний (компонентний), який застосовують при роботі з штанги без стабілізатора. Гвинт № 2 – не компонентний, його застосовують при роботі вертушки на тросі, при великих швидкостях понад 2 м/с.



Лічильно-контактний механізм служить для відліку кількості обертів лопатевого гвинта вертушки. Він знаходиться у внутрішній камері, яка заповнена маслом, і представляє собою черв'ячну шестерню з двадцятьма зубцями і контактним штифтом.

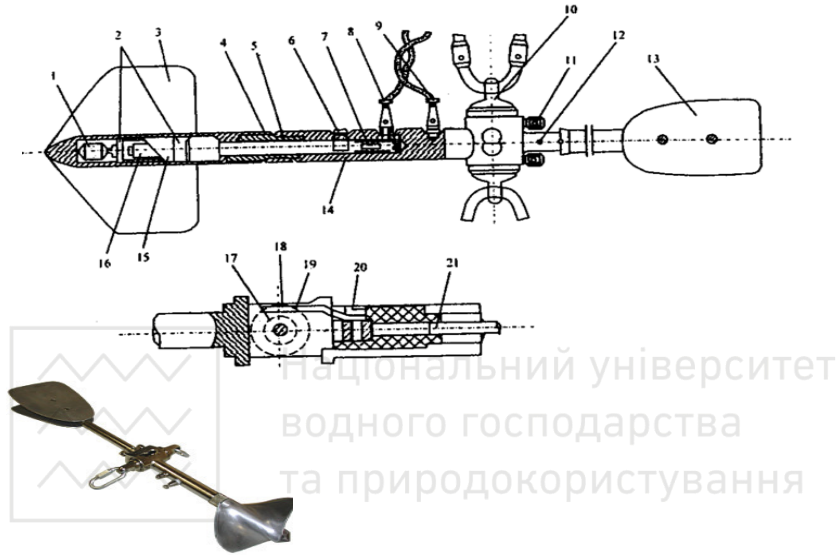


Рис. 4.11. Гідрометрична вертушка ГР-21М:

- 1 – осьова гайка; 2 – шарикопідшипники; 3 – лопатевий гвинт;  
4 – затискна муфта; 5 – вісь ходової частини; 6 – гвинт стопорний;  
7 – гніздо штепселя; 8 – ізольована клема; 9 – клема з'єднана з корпусом;  
10 – вертлюг; 11 – затискні гвинти; 12 – гвинт стабілізатора; 13 – стабілізатор; 14 – корпус; 15 – зовнішня втулка;  
16 – внутрішня розпірна втулка; 17 – черв'ячна шестерня;  
18 – контактний штифт; 19 – контактна пружина; 20 – контактний гвинт; 21 – струмопровідний стержень

Коли контактний штифт доторкається до контактної пружини (через 20 обертів лопатевого гвинта), то відбувається замикання електричного ланцюга сигнального пристрою.

Стабілізатор необхідний для встановлення гідрометричної вертушки проти течії. Він одягається на корпус, коли вертушка

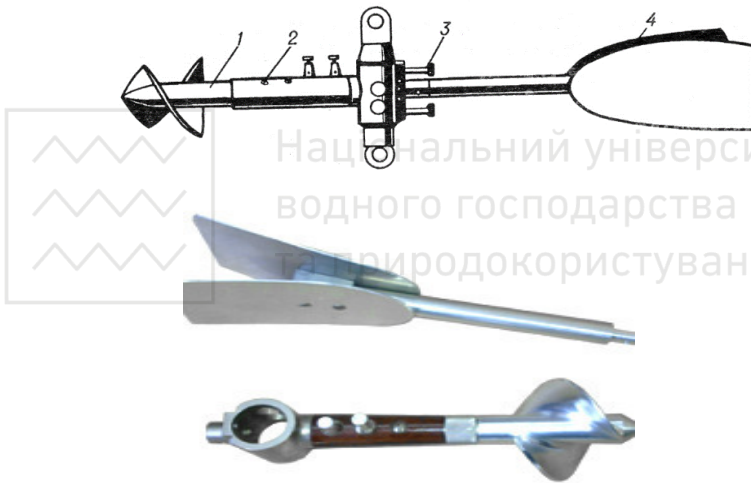


закріплена на вертлюзі і вільно обертається навколо нього, тобто використовується при вимірюванні швидкості течії, коли вертушка з'єднана з тросом.

Сигнальний пристрій служить для передачі сигналів при замиканні контактів вертушки.

Тут застосовується звукова сигналізація за допомогою дзвоника, до якого підводяться дроти від клем на корпусі вертушки.

На рис. 4.12 зображено гідрометричну вертушку ГР-55, яка широко застосовується на практиці для вимірювання швидкості течії води.



*Рис. 4.12. Гідрометрична вертушка ГР-55:  
1 – ходова частина; 2 – корпус; 3 – затискні гвинти;  
4 – хвостове оперення*

Гідрометрична вертушка ГР-55 за будовою ходової частини і контактного механізму подібна до вертушки ГР-21М. Головною відмінністю цієї вертушки є малий розмір лопатевого гвинта, тому вона значно менша за розміром (70 мм), ніж ГР-21М (120 мм). У його комплекті також є два гвинти: гвинт № 1 – компонентний, який застосовується при швидкостях течії



від 0,1 до 2,5 м/с при роботі зі штангою. Гвинт № 2 – не компонентний, і застосовується при швидкостях від 0,2 до 5,0 м/с при роботі з тросом.

Вертушки комплектуються засобами для опускання їх у воду (штанга, вертлюг) для забезпечення сигналізації (електричні батарейки), а також інструментом (викрутки), маслом для заповнення контактної камери.

Вертушки ГР-21М, ГР-55 є універсальними, тобто їх можна занурювати, закріплювати на штанзі або на тросі, в останньому випадку використовують вертлюг (рис. 4.13).

Штанга призначена для встановлення гідрометричної вертушки на потрібну глибину на вертикалі.

Роботу вертушки зі штангою здійснюють при глибині річки до 3 м і швидкості течії до 1,5 м/с. Штанги виготовляють із металевих труб діаметром 2-3 см, завдовжки 3-4 м (дві частини по 1,5-2 м). На штангах через 5 - 10 см нанесено поділки і через 10 см цифри.

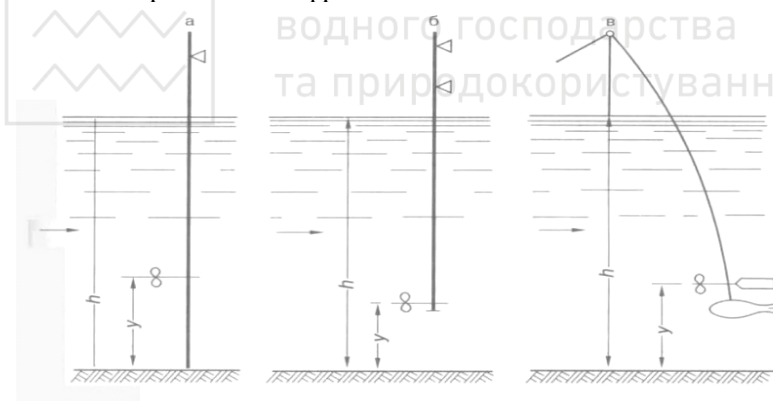


Рис. 4.13. Спосіб встановлення гідрометричної вертушки:  
а) на опорній штанзі; б) на підвісній штанзі; в) на тросі

При глибинах понад 3 м, а також під час роботи з мостів і люльок вертушки опускають у воду на тросі вручну або за допомогою ручних лебідок. Застосовують сталеві троси діаметром до 4 мм або спеціальні троси з вплетеними в них



ізолюваними проводами. Такий трос одночасно виконує роль кабелю для передачі сигналів [2].

Принцип дії гідрометричних вертушок полягає в наступному: під тиском течії гвинт обертається і через кожні 20 обертів лопатевого гвинта відбувається замикання електричного ланцюга і отримуємо сигнал (дзвоник або загоряння лампочки).

До правил догляду за вертушкою відносять: 1) після вимірювань вертушкою її потрібно протерти сухою ганчіркою і скласти у ящик, так, щоб всі її частини увійшли точно на свої місця і кришка ящика могла вільно закриватися; 2) у приміщенні вертушку необхідно просушити, корпус і стабілізатор змастити тонким шаром масла; 3) ходову частину розібрати, крім підшипників, і всі частини промити бензином (необхідно використовувати бензин автомобільний, літній, ГОСТ 2084-52. Не можна використовувати бензин етиловий. Замість бензину можна використовувати керосин тракторний, ГОСТ 1842-52). При необхідності зовнішні поверхні очищують зубною щіткою, а внутрішні - щетинним йоржем. Контактний механізм необхідно промивати обережно так, щоб не зачепити контактних пружин; 4) при розбиранні вертушки необхідно звернути увагу на стан шариків і обойм підшипників і при знаходженні на них іржі, вертушку відправляють на ремонт і тарування; 5) після прочищення ходової частини вертушку збирають, наливаючи у порожнину лопатевого гвинта трансформаторне масло (6 мл). Якщо виявлена погнутість лопатевого гвинта, несправності у контактному механізмі та інші дефекти, то вертушку відправляють на ремонт і тарування; 6) при роботі взимку вертушка може обледеніти. В цьому випадку, її необхідно занурити у гарячу воду або опустити у річку і зачекати поки обледеніння не пройде; 7) штанги, трос, частини лебідок, грузи, карабіни необхідно очищати від бруду, іржі та змащувати маслом; 8) зберігати вертушку і її частини необхідно у сухому провітрюваному місці.



## 4.5. Вимірювач швидкості течії

Вимірювання середньої за період спостережень швидкості течії водного потоку в природних і штучних руслах на мережі гідрометеорологічних станцій та інших відомств проводиться «ИСТ–І–0,06/120/70». Він є одним із найбільш новіших на сьогоднішній день приладів для вимірювання швидкостей течії води у водному потоці (рис. 4.14) [12].



*Рис. 4.14. Вимірювач швидкості течії води «ИСТ–І–0,06/120/70»:  
1 – клеми для підключення сигнального проводу вертушки; 2 – вмикач та вмикач живлення; 3 – числове табло; 4 – перемикач режимів роботи; 5 – кнопки ПУСК; 6 – кнопка ИИД; 7 – сигналізатор режиму вимірювання; 8 – сигналізатор роботи вертушки*

Також «ИСТ–І–0,06/120/70» використовується при визначенні витрат води у водотоках.

Принцип роботи «ИСТ–І–0,06/120/70» базується на обертанні лопатевого гвинта під дією потоку, перетворенні цього обертання і послідовність енергетичних імпульсів і визначенні середньої за час вимірювання швидкості течії. Швидкість обертання лопатевого гвинта і відповідна їй частота електричних імпульсів функціонально зв'язана зі швидкістю течії води у водному потоці.





Перетворення швидкості течії води у послідовність електричних імпульсів виконується за допомогою гідрометричної вертушки ВГ–І–120/70, яка входить до складу «ИСТ–І–0,06/120/70».

Вертушка має два змінних лопатевих гвинта (120 та 70 мм).

Кожен гвинт вертушки має свою нормальну градуйовану залежність виду

$$v = a + b \cdot n, \quad (4.5)$$

де  $v$  – виміряна швидкість течії, м/с;  $a, b$  – коефіцієнти градуйованої залежності, які приведені у свідоцтві вертушки, зокрема  $a$  у м/с, а  $b$  у метрах;  $n$  – кількість обертів лопатевого гвинта за секунду.

Безвідмовна робота вимірювача швидкості течії забезпечується його регулярним технічним обслуговуванням. Ремонт приладу проводиться тільки у спеціальних майстернях.

Робочі умови вертушки ВГ І–120/70: вода з температурою від 1 до 30° С; мінералізація потоку від 0 до 1000 г/м<sup>3</sup>; каламутність потоку до 10 000 г/м<sup>3</sup>. Напрацювання на відмову приладу повинна бути не менше 8600 годин.

До складу «ИСТ–І–0,06/120/70» входить: вимірювач швидкості течії «ИСТ–І–0,06/120/70»; гідрометрична вертушка ВГ І–120/70; обчислювач «ИСТ–І–0,06/120/70»; комплект змінних і запасних частин інструменту і обладнання; укладальний ящик (чемодан); вимірювач швидкості течії «ИСТ–І–0,06/120/70»; паспорт; вимірювач швидкості течії «ИСТ–І–0,06/120/70», відомість запасних, змінних частин та обладнання.

Технічні характеристики вертушки, склад, будова і принцип роботи, зміст операцій з підготовки до роботи і технічне обслуговування наведено у її паспорті, який входить до комплекту документації «ИСТ–І–0,06/120/70».

Вимірювач має корпус з внутрішньою порожниною, у якій розміщена вимірювальна плата, плата індикації і джерело електричного живлення. Порожнина корпусу з торців закрита лицевою панеллю і торцевою кришкою. На корпусі встановлена



ручка для переноски вимірювача і його нахилу для зручності при використанні.

Джерело електричного живлення «ИСТ–I–0,06/120/70» розміщений у відсіку вимірювача і являє собою батарею із чотирьох послідовно з'єднаних гальванічних елементів з номінальною напругою 6,4 В. При відсутності цих елементів в якості джерела живлення можна використовувати батарею із чотирьох послідовно з'єднаних елементів з напругою 6 В. Ці елементи встановлюються у спеціальний контейнер, який входить у запасні обладнання приладу. Доступ до відсіку живлення проводиться шляхом зняття корпусу обчислювача.

Для зняття електричних сигналів таймера на 60 або 100 с нормованих сигналів, які йдуть від вертушки, використовується джгут, який підключається до роз'єму.

У панелі виконано декілька отворів для забезпечення надходження сигналу від звукового індикатору, який розміщений у внутрішній частині корпусу.

Числове табло 3 служить для відображення інформації, отриманої за допомогою «ИСТ–I–0,06/120/70», а саме даних про виміряну швидкість течії та кількість обертів. У режимі вимірювання швидкості течії числове табло 3, з метою зменшення потреб споживання живлення, воно вмикається на період часу, рівний 10 с.

Перемикач режимів роботи 4 забезпечує роботу схем пристрою у режимі контролю, у режимі вимірювання при довготривалому періоді усереднення швидкостей течії (100 або 60 с), а також у режимі обчислення кількості сигналів «ОБ», які надійшли від вертушки.

За допомогою кнопки 5 ПУСК забезпечується вмикання «ИСТ–I–0,06/120/70», за допомогою кнопки 6 ІНД – можливість примусової індикації показу на числовому табло 3 у будь-який момент часу при вимірюванні, а також по закінченні вимірювання після 10 с вимикання числового табло.

Сигналізатор режиму вимірювання 7 виконаний у вигляді світлодіодів, який вмикається після натискання кнопки 5 ПУСК і вимикається після закінчення вимірювання після 60 с чи 100 с.



Сигналізатор роботи вертушки 8 виконаний у вигляді двох світлодіодів, чергування яких свідчать про функціонування вертушки.

Електрична схема вимірювача виконана на двох платах: вимірювальній платі і платі індикації.

Робота обчислювача базується на лічильно-імпульсному принципі, який полягає у підрахунку кількості імпульсів, які надходять на його вхід на протязі визначеного інтервалу часу.

Обчислювач складається з таких компонентів: формувача вхідного сигналу; таймеру; програмуючого лічильника; сумуючого сигналу; лічильника-розділювача; вузла індикації.

Формування вхідного сигналу включає у себе схему придушення «ДРЕБЕЗГА» магнітоуправляючого контакту вертушки «ИСТ-I-0,06/120/70». Лічильник-розділювач призначений для ділення вхідних імпульсів на 60 або 100 с в залежності від режиму вимірювання. Вузол індикації призначений для відображення обчисленого результату і його сигналізації.

Підготовка до роботи «ИСТ-I-0,06/120/70» виконується у наступному порядку:

1. Виконати всі дії по підготовці до роботи вертушки у відповідності з паспортом на неї.

2. Визначити в залежності від діаметра використаного у вертушки лопатевого гвинта, вигляд змінної вилки для вводу в обчислювач значень коефіцієнтів  $a$  і  $b$  градуйованої залежності вертушки. Діаметр лопатевого гвинта нанесений на корпус вилки.

3. Достати вимірювач із укладального ящика, зняти корпус, встановити у розетку вилку для вводу у схему коефіцієнтів і градуйованої залежності вертушки, відповідно до використаного у вертушки лопатевого гвинта.

4. Визначити правильність функціонування вимірювача. Для цього встановити вимикач живлення 2 на лицевій панелі вимірювача у положення «ВКЛ», а перемикач роботи 4 у положення КОИТР, натиснути кнопку «ПУСК». Через 60 с на числовому табло 3 повинно висвітитися число, відповідне



контрольному числу, приведеному у свідоцтві про приймання ІСТ для вибраного лопатевого гвинта вертушки.

#### 5. Ввімкнути живлення «ИСТ-I-0,06/120/70».

Для проведення вимірювань «ИСТ-I-0,06/120/70», як правило, використовується двоє людей. Один виконує занурення вертушки у задану точку потоку, а інший працює з вимірювачем, проводячи записи показів.

Порядок роботи з «ИСТ-I-0,06/120/70» у режимі вимірювання швидкості течії включає:

1. Встановлення вертушки на пристрій занурення у воду у відповідності з діючою «Настановою гідрометеорологічним станціям і постам». При роботі зі штанги встановлюється на ній візир для забезпечення орієнтації вертушки у потоці. Повздовжня вісь візира повинна лежати в одній площині з повздовжньою віссю вертушки. Візир повинен розташовуватися при зануренні вертушки над поверхнею води, у тому місці, яке є зручним для спостережень.

2. Приєднання сигнального проводу вертушки до вимірювача. Якщо при цьому використовується сигнальний провід з двома провідниками – (робота зі штанги), то його наконечники потрібно приєднати безпосередньо до клеми «*ВЕРТ*» на лицевій панелі обчислювача (рис. 4.14). Якщо використовується сигнальний провід з одним провідником (робота з тросу, забезпеченого струмопровідною жилкою), тоді він приєднується до струмопровідної жилки гідрометричної лебідки, а струмознімальні клеми на її корпусі приєднуються за допомогою спеціального з'єднувального проводу, який входить до комплекту «ИСТ-I-0,06/120/70» – запасних, змінних частин та, до клем «*ВЕРТ*» на лицевій панелі вимірювача.

3. Розміщення вимірювача в зручному місці на засобі переправи (у човні, катері, на містку, у люльці) або розташування його на грудях, за допомогою ременів.

4. Занурення вертушки у задану точку водотоку. При роботі вертушки зі штанги необхідно після упору її кінця об дно водотоку повернути штангу так, щоб візир, а також повздовжня вісь вертушки були направлені перпендикулярно вимірювальному створу.



5. Встановлення вимикача живлення 2 на лицевій панелі вимірювача у положення «ВКЛ», при цьому повинно спостерігатися чергування вмикання світлодіодів роботи вертушки 8.

6. Встановлення перемикача режимів роботи 4 на лицевій панелі вимикача у положення 100 або 60 с. Вибір періоду вимірювання визначається в залежності з вимогами діючої «Настанови гідрометеорологічним станціям і постам» (додаток 7) [7].

7. Натискання кнопки 5 «ПУСК» на лицевій панелі, а саме:

а) зняття показів з числового табло 3 на лицевій панелі вимірювача після вмикання звукового сигналізатора режиму вимірювання, які оголошують про закінчення процесу вимірювання. Після автоматичного вимикання числового табло 3 дані вимірювань можуть бути висвітлені натисканням на кнопку 6 «ІНД»;

б) вимкнення живлення «ИСТ-I-0,06/120/70» вимикачем 2;

в) встановлення вертушки в іншу точку потоку або підняття його з води на поверхню.

Робота «ИСТ-I-0,06/120/70» у режимі визначення обертів лопатевого гвинта вертушки дозволяє підвищити точність визначення швидкостей течії води. У цьому випадку з числового табло 3 вимірювача знімається кількість обертів лопатевого гвинта, а час роботи визначається за допомогою автономного секундоміра. У вертушки для її визначення використовується лопатевий гвинт діаметром 120 мм.

Порядок роботи «ИСТ-I-0,06/120/70» у режимі визначення обертів лопатевого гвинта вертушки включає:

1. Виконання операцій 1-4 по підготовці до роботи «ИСТ-I-0,06/120/70».

2. Встановлення перемикача режимів роботи 4 на лицевій панелі вимірювача у положення «ОБ».

3. Натискання кнопки 5 «ПУСК» на лицевій панелі вимірювача і відразу після вмикання сигналізатора режиму



вимірювання 7 ввімкнення автономного секундоміра (у склад «ИСТ–I–0,06/120/70» не входить).

4. Натискання кнопки 6 «ИИД» і спостереження за табло та кількістю обертів, які виконав лопатевий гвинт вертушки.

5. Ввімкнення секундоміра відразу після виконання лопатевим гвинтом вертушки необхідного числа обертів, яке показано на числовому табло 3.

6. Запис даних про число обертів лопатевого гвинта вертушки до часу його роботи.

7. Визначення середньої швидкості обертання лопатевого гвинта вертушки і за градуйованою залежністю визначення швидкості течії води.

Похибка «ИСТ–I–0,06/120/70» складається з похибки вертушки і похибки вимірювача «ИСТ–I–0,06/120/70». Оцінка похибки «ИСТ–I–0,06/120/70» може бути визначена за формулою

$$\delta_{\text{ИСТ}} = \sqrt{\delta^2 + \delta_n^2}, \quad (4.6)$$

де  $\delta$  – межа допустимої основної відносної похибки вертушки, яка приводиться у паспорті;  $\delta_n$  – межа допустимої відносної похибки «ИСТ–I–0,06/120/70», яка приводиться у розділі технічних характеристик паспорта «ИСТ–I–0,06/120/70».

Наприклад, для «ИСТ–I–0,06/120/70» межа допустимої відносної похибки вимірювача швидкості течії води  $\delta_n$ , %, повинна бути не більше значення вимірювача, визначеного за формулою

$$\delta_n = \frac{0,005}{v_n} \cdot 100, \quad (4.7)$$

де  $v_n$  – швидкість течії, м/с, визначена «ИСТ–I–0,06/120/70» у режимі «60 с».

При необхідності обліку додаткової похибки вертушки, обумовленої впливом зниження температури у діапазоні від 1 до 10° С, яка приведена у паспорті вертушки. Її величина додається до величини  $\delta_n$  у приведеній вище формулі (4.7).



#### 4.6. Залежність між числом обертів лопатевого гвинта вертушки та швидкістю течії. Тарування гідрометричних вертушок

При вимірюванні швидкості течії вертушкою використовують залежність між числом обертів лопатевого гвинта (або ротора) за секунду і швидкістю. Для ідеальних умов у потоці (тобто, коли відсутня сила тертя в механізмі вертушки і гідравлічних опорів, в'язкості рідини) ця залежність виражається рівнянням

$$v = k_r n, \quad (4.8)$$

де  $v$  – швидкість течії води, м/с;  $n$  – число обертів лопатевого гвинта за секунду;  $k_r$  – геометричний крок лопатевого гвинта (шлях, що його пройде вертушка, коли лопатевий гвинт зробить один оберт). Більш точно цю залежність можна записати у вигляді напівемпіричного рівняння

$$v = an + \sqrt{bn^2 + c}. \quad (4.9)$$

При  $n=0$ ,  $v = \sqrt{c} = v_0$ , де  $v_0$  – початкова швидкість вертушки, рівняння (4.9) можна записати у вигляді

$$v = an + \sqrt{bn^2 + v_0^2}, \quad (4.10)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – параметри вертушки.

Як видно з формули (4.10), рівняння вертушки 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  $v_0$  – це найменша швидкість, при якій лопатевий гвинт починає обертатися, тобто найменша швидкість течії, яку можна виміряти вертушкою. Для більшості вертушок  $v_0 = 0,03-0,06$  м/с. Верхня межа швидкості, яку можна виміряти вертушкою, вказується у паспорті приладу.

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



Для тарування вертушок використовують *прямолінійні* тарувальні басейни, *кругові* тарувальні басейни і тарувальні лотки В. Уривасва. Тарування проводять у стоячій воді, де вертушки буксирують з різними швидкостями (проводиться серія дослідів 15-20 разів). Для кожної швидкості визначають число обертів робочого колеса за 1 секунду і на основі цих даних будують тарувальну криву вертушки (рис. 4.15), яка є його своєрідним паспортом, без якої її не використовують.

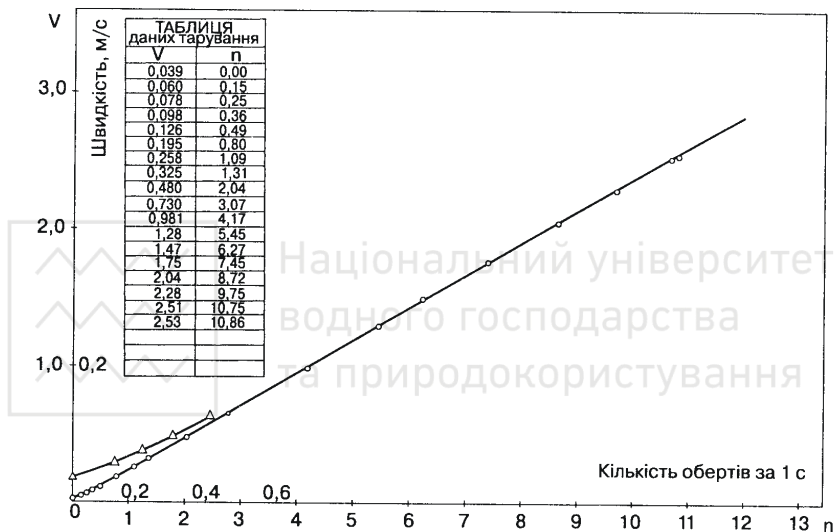


Рис. 4.15. Тарувальна крива вертушки

Вертушки потрібно тарувати зразу ж після їх виготовлення (*заводське тарування*) та в процесі їх експлуатації (*повторне тарування*): при 25-30 вимірюваннях витрат води; через два роки, якщо вертушка з мастильною камерою; без мастильної камери – через один рік. У разі пошкодження вертушки її слід відремонтувати та протарувати [3].

*Кругові тарувальні басейни* можна охарактеризувати на прикладі басейну, що працює в Державному гідрологічному інституті (Росія, Санкт-Петербург) (рис. 4.16) [2].



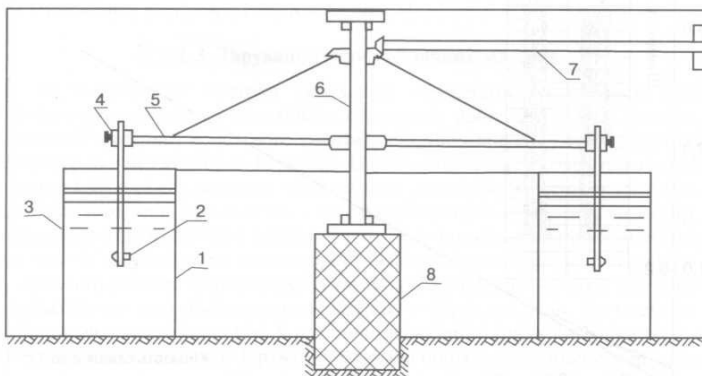


Рис. 4.16. Схема кругового тарувального басейну: 1 – внутрішня стінка; 2 – вертушка; 3 – зовнішня стінка; 4 – штанготримач; 5 – карусель; 6 – вертикальний вал; 7 – горизонтальний вал; 8 – фундамент

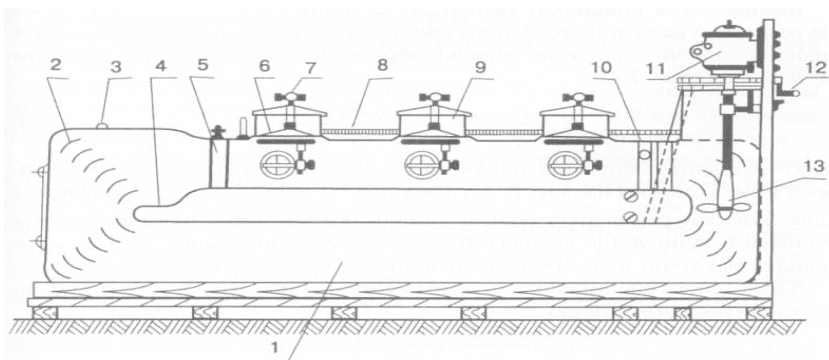
У центрі басейну на горизонтальних стрілах зі штангами, закріплюються гідрометричні вертушки на глибині 0,4-0,5 м. У басейні можна тарувати одночасно чотири вертушки одного типу.

Також гідрометричні вертушки можуть таруватися у лотку В. Уривасва (рис. 4.17) [2].

Такий лоток може встановлюватися у невеликому приміщенні. Резервуар поділений горизонтальною перегородкою так, що всередині його утворюється замкнутий овальний канал чи трубопровід, по якому може циркулювати вода при таруванні вертушок.

Швидкість води у лотку змінюється. Дані тарування записуються хронографом.

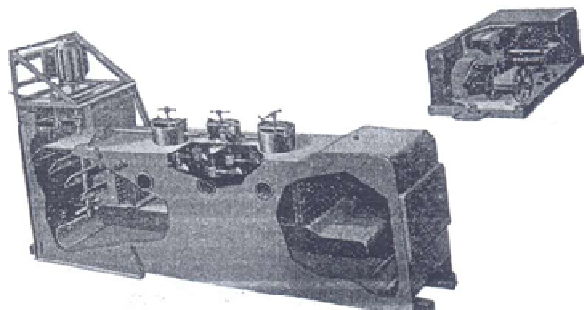
Помилки при таруванні таким лотком можуть досягати 2%, тоді як точність тарування у прямолінійному басейні можна довести до 0,25%. Перевага методу полягає у швидкості і можливості відразу вести тарування кількох вертушок, що іноді має вирішальне значення.



*Рис. 4.17. Тарувальний лоток В. Уриваєва:*

- 1 – резервуар; 2 – спрямовуючі лопатки; 3 – пробка;*
- 4 – перегородка; 5 – решітка; 6 – кришка; 7 – гвинт;*
- 8 – трубка; 9 – люк; 10 – жалюзійна решітка;*
- 11 – електромотор; 12 – ручка; 13 – гребний гвинт*

Також існує і тарувальний лоток ГР-19 (рис. 4.18), призначений для тарування гідрометричних вертушок з горизонтальною віссю методом порівняння зі зразковою вертушкою.



*Рис. 4.18. Тарувальний лоток ГР-19*

Основні технічні її характеристики: межі швидкості руху води (0-2,25 м/с); переріз лотка у робочій частині (0,3-0,4 м); довжина робочої частини лотка (2,0 м); розміри змонтованого обладнання (3,65-0,9-1,9 м); вага в упакованому вигляді (1,0 т).



Робота лотка полягає в утворенні набігаючого потоку з плавною зміною швидкості у замкненому трубопроводі, у якому здійснюється тарування вертушок.

Лоток складається з двох основних вузлів: корпусу і гвинтомоторної групи. Вода у лотку приводиться у рух гвинтом, який обертається електродвигуном з постійною кутовою швидкістю приблизно 450-600 обертів за хвилину. Швидкість руху води у замкненому контурі лотка регулюється оберненням лопатей гребного гвинта (кут наступу). Для реєстрації результатів тарування лоток комплектується хронографом на 8 пір'їн.

У лотку відбувається двократне тарування вертушок (із взаємною зміною їх місць розташування – правої бокової стінки, лівої бокової стінки) з метою виключення впливу стінок лотка.

Тарувальна залежність вертушки представлена у вигляді графіка, як середнє арифметичне з двох тарувальних графіків [5].

#### **4.7. Способи вимірювання швидкості течії води гідрометричною вертушкою в точці водного потоку**

Обробка матеріалів вимірювання швидкостей течії води різна в залежності від вибраного методу, приладу та способу.

Виділяють такі способи:

1. *Спосіб реєстрації кількості сигналів за час вимірювання.* Вертушка встановлюється лопатевим гвинтом проти течії. Перших два сигнали пропускаємо, а починаючи з кінця третього сигнала, включаємо секундомір і ведемо підрахунок сигналів (третій сигнал у підрахунок не включаємо). При одержанні першого парного сигналу після 100 с вимірювань спостереження припиняються. Загальне число обертів лопатевого гвинта вертушки за час спостережень ( $N$ ) визначають множенням кількості сигналів на 20. Швидкість обертання лопатевого гвинта ( $n$ ) визначають як відношення  $N$  до  $t$ , де  $t$  – час спостережень не менше, ніж 100 с.

2. *Спосіб із записом часу надходження окремих сигналів.* Застосовується тоді, коли необхідно знати нерівномірність



надходження сигналів. Він полягає у записі по секундоміру часу надходження сигналу вертушки. При невеликих швидкостях, і відповідно різких сигналах, записується відлік часу надходження кожного сигналу, а при частих сигналах – через 1 або декілька сигналів. Загальна тривалість вимірювань в точці повинна бути не менше, ніж 100 с.

*Прийом* – це число сигналів, а відповідно і кількість обертів лопатевого гвинта між записами часу за секундоміром. Число сигналів за прийом визначають за табл. 4.1.

Число прийомів має бути не менше 2, але не більше 8 за час вимірювання не менше ніж 100 с. Кількість прийомів повинна бути парною.

Різниця між тривалістю першої половини вимірювання і другої половини повинна відрізнятись більш, як на 5 с, в протилежному випадку необхідно змінити число обертів за прийом [2; 3].

При вимірюванні малих швидкостей течії води гідрометричними вертушками на швидкісній вертикалі, коли проміжки часу між сигналами становлять 40 с або загальна тривалість спостережень у точці перевищує 160 с, різниця у часі між першою і другою половинами вимірювань може бути до 10 с.

*Таблиця 4.1*

Число сигналів та кількість обертів лопатевого гвинта між записами часу за секундоміром

Час між сигналами, с	Число сигналів за прийом	Число обертів гвинта за прийом
>20	1	20
20-10	2	40
10-5	3	60
5-4	4	80
4-3	5	100

Якщо ж проміжок часу між сигналами понад 80-100 с, вимірювання швидкості гідрометричною вертушкою необхідно



припинити і продовжити вимірювання її глибинним поплавком або поплавком-інтегратором.

Число обертів лопатевого гвинта ( $N$ ) визначається множенням числа прийомів на кількість обертів лопатевого гвинта за прийом.

#### 4.8. Способи вимірювання швидкості течії води на вертикалі гідрометричною вертушкою

При вимірюванні швидкостей гідрометричними вертушками, за даними вимірювання глибин в гідрометричному створі, необхідно призначити швидкісні вертикалі в залежності від ширини річки і способу вимірювання витрат води. *Швидкісна вертикаль* – вертикаль, на якій вимірюється швидкість течії води.

Існують такі способи вимірювання швидкостей течії води гідрометричною вертушкою на вертикалі:

– *інтеграційний*, якщо *гідрометрична вертушка*, встановлена лопатевим гвинтом назустріч швидкісному потоку, повільно переміщати у площині живого перерізу в якомусь напрямку від однієї до іншої точки і реєструвати загальну кількість обертів гвинта  $N$  і тривалість вимірювань  $t$ , то середня швидкість на цьому відрізку шляху вертушки визначається за кількістю обертів  $n$  за 1 с, тобто  $n=N/t$ ,  $V=f(n)$  і може бути знайдена за тарувальною кривою.

– *точковий*, коли на швидкісних вертикалях призначаються точки, на яких вимірюється швидкість течії води.

У більшості випадків при вимірюванні швидкості течії гідрометричною вертушкою застосовують точковий спосіб.

Існує три способи точкового вимірювання швидкостей течії води на вертикалі: *детальний, основний і скорочений*. Вони відрізняються в залежності від кількості швидкісних вертикалей, від кількості точок на вертикалі, від способу вимірювання вертушкою в точці. Кількість точок визначається глибиною на вертикалі та умовами вимірювання (лід, рослинність тощо).



**Детальний спосіб** передбачає детальне вивчення кінематики потоку. Спосіб застосовують для вивчення особливостей швидкісного поля потоку та на нових створах у перші 2-3 роки спостережень. Детальний спосіб передбачає багаточислове вимірювання швидкості на великій кількості вертикалей.

При детальному способі швидкісні вертикалі розташовують рівномірно по ширині річки, приблизно на відстані одна від однієї на  $b \approx (0,07-0,10) B$ , де  $B$  – ширина річки, м.

При детальному способі відстань між швидкісними вертикалямизначається через рівні проміжки по ширині річки (табл. 4.2) [4].

Таблиця 4.2

Встановлення відстані між швидкісними вертикалями при  
детальному способі

Ширина річки, м	Відстань між вертикалями, м	Ширина річки, м	Відстань між вертикалями, м
Менше 20	0,5-2,0	100-200	10
20-30	2,0	200-300	20
30-40	3,0	300-500	30
40-60	4,0	500-800	40
60-80	6,0	Більше 800	50
80-100	8,0		

Фактично швидкісні вертикалі при детальному способі призначаються через одну промірну вертикаль.

При наявності різких переломів перерізу dna швидкісні вертикалі необхідно приурочувати до цих переломів. На заплаві річки при спокійному рельєфі вертикалі розташовують рідше, чим в основному руслі, але у руслоподібних пониженнях заплави, де можуть бути відокремлені потоки, швидкісні вертикалі розташовують через одну-дві промірні вертикалі. На решті заплави вертикалі намічають рідше, відповідно до її



рельєфу. Така кількість і порядок розподілу швидкісних вертикалей забезпечують найточніше визначення витрат води.

При *вільному руслі* (без льоду і водної рослинності), якщо глибина  $h$  більше ніж 1,5 м, то вимірювання проводять у 10 точках по глибині (поверхня, 0,2 $h$ ; 0,3 $h$ ; 0,4 $h$ ; 0,5 $h$ ; 0,6 $h$ ; 0,7 $h$ ; 0,8 $h$ ; 0,9 $h$  та біля дна). Якщо глибина  $h$  від 1,5 до 1,0 м вимірювання проводять у 5 точках по глибині: поверхня, 0,2 $h$ ; 0,6 $h$ ; 0,8 $h$  та біля дна. В інтервалі глибин  $h$  від 1,0 м до 0,75 м застосовують дві точки вимірювань: 0,2 $h$ ; 0,8 $h$ . При глибині  $h$  менше 0,75 м застосовують одну точку вимірювань (0,6 $h$ ) (рис. 4.19).

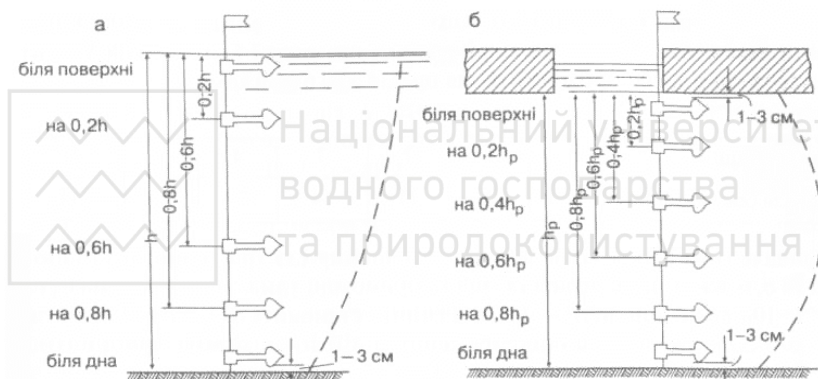


Рис. 4.19. Розташування вертушки в точках по глибині на вертикалі при детальному способі:  
а – при вільному русі; б – при льодовому покриві

За наявності у руслі водної рослинності та під льодовим покривом до 5 вказаних точок додають 6 точку (0,4 глибини) або застосовують рівномірний розподіл точок по глибині. У цих же умовах у діапазоні глибини  $h$  від 1,5 до 1,0 м вимірювання проводять у 3 точках (0,15 $h$ ; 0,5 $h$ ; 0,85 $h$ ). При глибинах  $h$  від 1,0 до 0,75 м вимірюють у двох точках (0,2 $h$ ; 0,8 $h$ ). При глибинах  $h$  менше 0,75 м – в одній точці (0,5 глибини) [10].

Розташування точок на швидкісній вертикалі біля поверхні та дна визначається розміром лопатевого гвинта



вертушки та з умовами безпечного використання вертушки біля дна та поверхні льодового покриву (рис. 4.19).

У кожній точці на швидкісній вертикалі швидкість течії визначають способом прийомів.

**Основний спосіб** передбачає вимірювання витрат води при меншій кількості швидкісних вертикалей (не менше 5) і точок на вертикалі при умові, якщо результати вимірювання витрат води цим способом будуть відрізнятися від витрат, які виміряні детальним способом, не більше ніж на  $\pm 3\%$ .

Кількість швидкісних вертикалей і їх розташування у створі встановлюється на основі аналізу 20-30 витрат, виміряних детальним способом у різні сезони року при різних рівнях води.

При основному способі у *відкритому руслі* швидкості вимірюють в двох точках на вертикалі:  $0,2h$  і  $0,8h$ , а при глибині  $h$  менше  $0,75$  м – в одній точці  $0,6h$  або  $0,5h$ . Мінімальна глибина потоку  $h$  при одноточкових вимірюваннях складає  $0,30$  м.

При наявності у *руслі водної рослинності і при льодовому покриві* вимірювання швидкості на вертикалі проводяться у трьох точках ( $0,15h$ ;  $0,5h$ ;  $0,85h$  глибини). У випадку, коли глибина  $h$  менше  $0,75$  м, вимірювання виконуються в одній точці –  $0,50h$ .

У кожній точці на швидкісній вертикалі швидкість течії визначають способом реєстрації кількості сигналів за час вимірювання.

**Скорочений спосіб** передбачає визначення витрати в одній ( $0,6h$ ) або двох точках ( $0,2h$ ;  $0,8h$ ) на вертикалі при вільному руслі і двох-трьох точках при льодовому покриві. Спосіб не застосовують на заростаючих, заплавних, зашугованих створах. Кількість і розташування швидкісних вертикалей і точок вимірювання швидкостей на них встановлюються на основі аналізу даних, які отримані в результаті вимірювання витрат води детальним і основним способами. Застосовувати спосіб доцільно на річках з стійким руслом, коли необхідні постійні та швидкі вимірювання витрат при неусталеному русі води. Якщо виявлено зміни форми поперечного перерізу русла або зміни форми епюри розподілу





швидкостей по ширині річки, то необхідно провести повторні дослідження і при необхідності змінити розташування і кількість швидкісних вертикалей.

**Прискорений спосіб** застосовується при швидких змінах рівня під час зміни витрат води (деформація русла, наявність підпору гідротехнічних споруд тощо). Сутність способу полягає у скороченні часу витримки вертушки в точці до 30 с. Перші два сигнали, які називають нульовими, пропускають. Секундомір включають в кінці другого сигналу і виключають у кінці сигналу, який настав по завершенню 30 с. Записують число сигналів і відлік по секундоміру з точністю до 0,2 с. При малих швидкостях, коли сигнали надходять рідше ніж через 30 с, витримка вертушки в точці обмежується інтервалом часу між двома сигналами вертушки. Застосування прискореного способу можливо при детальному та основному способах при числі швидкісних вертикалей не менше 5. Прискорений спосіб не застосовують при вимірюванні косострумінної течії.

#### **4.9. Обробка результатів вимірювань швидкості течії гідрометричною вертушкою у точці спостереження**

Обробка результатів вимірювань включає в себе: обчислення швидкості течії, виміряної в точці спостереження та обчислення середньої швидкості течії на швидкісній вертикалі.

Обробка результатів вимірювань швидкості течії у точці спостереження включає в себе визначення швидкості обертання лопатевого гвинта ( $n$ ), яку визначають як відношення загальної кількості обертів лопатевого гвинта ( $N$ ) до тривалості витримки вертушки в точці ( $t$ ). За швидкістю обертання лопатевого гвинта по тарувальній кривій  $V=f(H)$  визначають швидкість течії ( $v$ ) в точці вимірювання.

Середню швидкість течії на вертикалі визначають графічним та аналітичним методами.

*Графічний метод* застосовується тоді, коли швидкість течії вимірюється детальним способом, при основному та скороченому способі – *аналітичний*.



Розглянемо *аналітичний метод*. В залежності від кількості точок вимірювань та стану русла, середню швидкість на вертикалі визначають за формулами.

Для відкритого русла і за відсутності водної рослинності застосовують такі співвідношення:

а) при вимірюванні швидкості в десяти точках на вертикалі

$$V_{\text{сеп}} = \frac{\sum V_i}{10}; \quad (4.11)$$

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

$$V_{\text{сеп}} = 0,050 \cdot v_{\text{нов}} + 0,347 \cdot (v_{0,2} + v_{0,6}) + 0,173 \cdot v_{0,8} + 0,083 \cdot v_{\text{дно}}, \quad (4.12)$$

$$\text{або } V_{\text{сеп}} = 0,1 \cdot (v_{\text{нов}} + 3 \cdot v_{0,2} + 3 \cdot v_{0,6} + 2 \cdot v_{0,8} + v_{\text{дно}}); \quad (4.13)$$

в) при вимірюванні швидкості в двох точках на вертикалі

$$V_{\text{сеп}} = 0,5 \cdot (v_{0,2} + v_{0,8}); \quad (4.14)$$

г) при вимірюванні швидкостей в одній точці на вертикалі

$$V_{\text{сеп}} = v_{0,6}. \quad (4.15)$$

При вимірюванні швидкості течії води в руслі з водною рослинністю або за наявності льодового покриву використовують такі співвідношення:

а) при вимірюванні швидкості в шести точках на вертикалі

$$V_{\text{сеп}} = 0,1 \cdot (v_{\text{нов}} + 2 \cdot v_{0,2} + 2 \cdot v_{0,4} + 2 \cdot v_{0,6} + 2 \cdot v_{0,8} + v_{\text{дно}}); \quad (4.16)$$

б) при вимірюванні швидкості в трьох точках на вертикалі

$$V_{\text{сеп}} = (v_{0,15} + v_{0,50} + v_{0,85})/3; \quad (4.17)$$

в) при вимірюванні швидкості в двох точках на вертикалі

$$V_{\text{сеп}} = 0,5 \cdot (v_{0,2} + v_{0,8}); \quad (4.18)$$

г) при вимірюванні швидкості в одній точці на вертикалі

$$V_{\text{сеп}} = 0,9 \cdot v_{0,5}. \quad (4.19)$$



У наведених формулах індекси 0,2; 0,4 та інші означають відносно за глибиною положення точок вимірювань швидкостей на вертикалі, рахуючи від поверхні води.

*Графічний метод* полягає у побудові епюри швидкостей течії води на швидкісній вертикалі.

Побудова епюри швидкостей полягає в наступному: по вертикалі відкладаються глибини, по горизонталі – середні швидкості на вертикалі, у прийнятому масштабі (рис. 4.20). Побудову епюри проводять на міліметровому папері.

Горизонтальний масштаб для побудови епюри на всіх швидкісних вертикалях вибирають в залежності від найбільшої швидкості на найглибшій швидкісній вертикалі, з таким розрахунком, щоб відношення числа сантиметрів на горизонталі при найбільшій швидкості до числа сантиметрів на глибині було 0,7-1,0. Масштаби для побудови епюри швидкостей вибирають кратними 1, 2, 5. Масштаби для побудови вибирають так, щоб вертикальний розмір глибини на найглибшій швидкісній вертикалі складав не менше 6-10 см.

Наприклад, вибрано вертикальний масштаб 1 см – 1,00 м ( $h_{max}=5,5$  м), горизонтальний 1 см – 0,5 м/с ( $l_{max}=3,9$  см), і відношення  $3,9: 5,5=0,7$  задовольняє нашим вимогам.

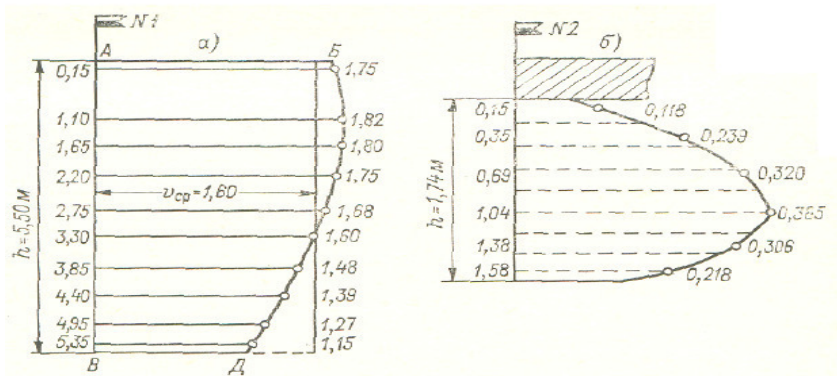


Рис. 4.20. До обчислення середньої швидкості на вертикалі та побудови епюри швидкостей



Через точки ординат проводять плавну криву, яка називається *епюрою середніх швидкостей* (рис. 4.20). З отриманої епюри одержують площу епюри ( $F$ ), яку визначають за допомогою планіметра або підрахунком кількості міліметрів квадратних на міліметровому папері.

Середні швидкості на вертикалі ( $v_{cp}$ ) графічним способом визначають за співвідношенням:

$$v_{cp} = F/h, \quad (4.20)$$

де  $F$  – площа епюри,  $m^2/c$ ;  $h$  – глибина на вертикалі, м.

Побудова епюри середніх швидкостей по перерізу річки розглянуто у наступному розділі.

Визначення швидкості течії в точках на швидкісній вертикалі, які виміряні вертушкою ГР-21, що опускається на штанзі при детальному способі вимірювання витрати води розглянемо на прикладі задач.

**Задача 1.** Визначити швидкості течії в точках на швидкісній вертикалі, які виміряні вертушкою ГР-21М при детальному способі вимірювання витрати води, якщо рівняння кривої тарування  $V = 0,23n$ , а саме: 1) оцінити правильність розташування вертушки за глибиною вертикалі; 2) оцінити вірність надходження окремих сигналів вертушки; 3) визначити суму обертів лопатевого гвинта вертушки; 4) визначити швидкість обертання лопатевого гвинта вертушки; 5) визначити швидкості течії в усіх точках спостережень; 6) визначити середню швидкість на вертикалі за аналітичними формулами.

**Розв'язок.** 1. Правильність розташування вертушки за глибиною на вертикалі оцінюємо наступним чином.

При детальному способі вимірювання число точок за глибиною дорівнює 5: поверхня;  $0,2h$ ;  $0,6h$ ;  $0,8h$ ; дно (табл. 4.3).

При вимірюванні швидкості біля поверхні вісь вертушки встановлюють на глибину, яка дорівнює не менше  $1/2$  діаметра лопатевого гвинта. В даному випадку (граф 4) ця глибина складає  $0,10$  м (діаметр  $0,12$  м).

При вимірюванні швидкості біля дна (граф 4) вісь вертушки повинна розташовуватися так, щоб лопать гвинта підвищувалася над дном не менше, ніж на  $1-3$  см (в даному випадку  $0,2$  м).



Глибина занурення на  $0,6 h$  із урахуванням глибини вертикалі  $h = 3,15$  м дорівнює  $0,6 \cdot 3,15 = 1,89$  м. Аналогічно визначають положення точок  $0,2$  та  $0,8 h$ , наведених в графі 4 табл. 4.3.

Відлік по штанзі обчислюють від дна. Для того, щоб його отримати для точки «Пов.», необхідно від робочої глибини відняти глибину занурення в метрах, тобто  $3,15 - 0,10 = 3,05$  (графа 5).

2. При детальному способі для спостереження за пульсацією швидкості виконують записи часу надходження окремих сигналів. При великих швидкостях течії записують відлік часу через один або декілька сигналів. Вводиться термін «прийом», який означає число сигналів, які надходять за проміжок часу між записами. Для вертушки ГР-21М замикання контактів проходить через 20 обертів лопатевого гвинта. В графі 6 запис часу проводився відповідно: через 5 та 4 дзвоника вертушки.

Число прийомів за час вимірювання повинно бути парним, не менше 2 та не більше 8, при загальній тривалості спостережень не менше 100 с. В даному прикладі тривалості спостережень: 138, 144, 130, 140, 101 с. Число прийомів складає 6, 6, 8, 6, 4 (графи 7-14).

Подвоєна тривалість першої половини спостережень повинна відрізнятися від другої не більше ніж на 5 с. В даному прикладі:  $2 \cdot 69 = 138 - 138 = 0$  с;  $2 \cdot 69 = 138 - 144 = 6$  с;  $2 \cdot 87 = 174 - 177 = 3$  с;  $2 \cdot 74 = 148 - 140 = 8$  с;  $2 \cdot 50 = 100 - 101 = 1$  с. Для глибини  $0,8h$ , ця умова не виконується.

3. Сума обертів лопатевого гвинта гідрометричної вертушки  $N$  розраховують як добуток номера тривалості спостережень на число обертів за прийом. Наприклад, для точки «Пов.»  $N = 6 \cdot 100 = 600$  обертів (графа 15).

4. Число обертів лопатевого гвинта за секунду визначають із точністю до 0,01 за відношенням  $n = N / t$ , де  $N$  – сума обертів



лопатевого гвинта;  $t$  – тривалість спостережень в секундах (графа 16).

5. Обчислення швидкості в точці виконується із застосуванням тарувальної кривої, яка є в сертифікаті приладу, і за якою складають рівняння тарувальної кривої. В даному випадку при  $V = 0,23n$  швидкості в точках складають: 0,98; 0,94; 0,84; 0,78; 0,72 м/с (графа 17).

6. Обчислення середньої швидкості на вертикалі аналітичним способом залежить від числа точок, в яких проводили вимірювання швидкості (формули 4.13-4.15).

$$V_{cp} = 0,1 \cdot (0,98 + 3 \cdot 0,94 + 3 \cdot 0,84 + 2 \cdot 0,78 + 0,72) = 0,86 \text{ м/с}$$

$$V_{cp} = 0,5 \cdot (0,94 + 0,78) = 0,86 \text{ м/с}$$

$$V_{cp} = 0,84 \text{ м/с.}$$





Таблиця 4.3

Визначення середньої швидкості в точці на вертикалі

№ вертикалі	Робоча глибина, м	Глибина опускання вертушки, м	Відлік за штангою в точці, м	Число обертів за прийом	Тривалість спостережень, t, с								Сума обертів, N	Число обертів за 1 с, n	Швидкість в точці, V, м/с	Середня швидкість на вертикалі, $V_{cp}$ , м/с	
					1	2	3	4	5	6	7	8					
3	3,15	Пов. 0,2h	0,10	3,05	100	25	48	69	95	116	138	144	177	600	4,35	0,98	0,86 0,86 0,84
			1,89	2,52	100	22	45	69	93	118	144	154	177	600	4,17	0,94	
			2,52	0,63	80	23	44	68	87	109	130	140	177	480	3,61	0,84	
			2,95	0,20	80	25	49	74	94	116	140	177	480	3,43	0,78		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18



## 5. ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ВОДИ У РУСЛОВИХ ПОТОКАХ

### 5.1. Методи визначення витрат води

Існують такі методи визначення витрат води, які можна поділити на дві основні *групи*: безпосереднє визначення витрат води і опосередковане визначення витрат води. До *першої групи* належить так званий об'ємний метод, за якого витрата води вимірюється за допомогою мірних посудин з фіксацією часу їхнього заповнення (застосовують при дуже малих витратах води – на маленьких струмках, джерелах, свердловинах та лабораторній практиці (велика точність вимірювань)). До *другої групи* належить методи, які можуть бути виконані різними методами, головною особливістю яких є те, що визначається не сама витрата, а окремі елементи (характеристики) потоку. Величину витрати визначають за допомогою обчислень.

Найбільших розповсюдженими методами визначення витрат води є:

1. Метод «*швидкість-площа*». Визначення витрати за вимірними швидкостями течії і площею поперечного перерізу річки. Площу поперечного перерізу потоку знаходять за результатами вимірювання глибин, а швидкості в окремих точках живого перерізу вимірюють гідрометричними вертушками або поверхневими поплавками.

Витрата розраховується як

$$Q = v_{\text{сер}} \cdot \omega, \quad (5.1)$$

де  $\omega$  – площа живого перерізу, м<sup>2</sup>;  $v_{\text{сер}}$  – середня швидкість течії потоку у руслі річки, м/с.

2. *Гідравлічний* метод. Визначення витрати проводиться за допомогою мірних пристроїв і обладнання (водозливи, гідрометричні лотки, контрольні русла), тоді витрату обчислюють за гідравлічними залежностями. Так для водозливу з тонкою стінкою витрату визначають за формулою

$$Q = m_1 \cdot h^{3/2} \cdot b \cdot \sqrt{2g}, \quad (5.2)$$





де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ ;  $b$  – ширина порогу водозливу,  $m$ ;  $h$  – напір води над порогом водозливу,  $m$ ;  $m_1$  – коефіцієнт витрати, який враховує швидкість підходу та бокове стиснення струменя. Метод застосовується на малих річках, лотках, зрошувальних каналах.

При визначенні витрат води за мітками високих вод використовують формулу Шезі

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{RI}, \quad (5.3)$$

де  $\omega$  – площа живого перерізу,  $m^2$ ;  $C$  – коефіцієнт Шезі;  $R$  – гідравлічний радіус,  $m$ ;  $I$  – похил водної поверхні, у частках від одиниці.

3. Метод **змішування**. Цей метод має такі види: електролітичний, тепловий, колориметричний. Найбільше застосовується електролітичний метод, за яким витрата води визначається з врахуванням зміни електропровідності введеного у потік розчину електроліту при змішуванні його з водною масою. Переважно цей метод застосовують на гірських річках з великими швидкостями течії, невеликими глибинами і складним рельєфом дна. Необхідною умовою застосування цього методу є добре виражений турбулентний режим руху води.

4. **Об'ємний** метод. Базується на безпосередньому вимірюванні об'єму води, який попадає в мірну посудину за певний проміжок часу

$$Q = \frac{W}{t}, \quad (5.4)$$

де  $W$  – об'єм посудини,  $m^3$  (або  $cm^3$ );  $t$  – час заповнення цієї посудини,  $s$ .

## 5.2. Облаштування гідрометричного створу

### 5.2.1. Вибір ділянки річки для гідрометричного створу

*Гідрометричний створ* – це створ (поперечник) через водотік, в якому визначається витрата води і виконуються інші види гідрометричних робіт.

Гідрометричний створ – частина гідрологічного поста. Кожен гідрометричний створ в залежності від умов



облаштовується або гідрометричними містками, або підвісними люльками, або тросовими та понтонними переправами, або дистанційними установками. На гідрометричному створі намічають швидкісні вертикалі в залежності від способу вимірювання витрати.

Гідрометричний створ встановлюють на ділянці, яка повинна відповідати деяким умовам:

- повинні виконуватися всі умови щодо гідрологічного (водомірного) поста;
- на ділянці течія води повинна спостерігатися по усій ширині річки, не повинно бути інтенсивного розмиву русла та значної рослинності;
- напрямок течії на ділянці повинна бути паралельна берегам;
- швидкість течії в межах повинна бути (не більше) не менше 0,15-0,25 м/с;
- швидкість течії в повінь і паводок повинна бути не більша 3-4 м/с;
- в зимовий період річка повинна покриватися суцільним льодовим покривом або не покриватися зовсім;
- на ділянці не повинно бути неусталеного руху води від гідротехнічних споруд, що стоять вище;
- на вибраній ділянці не повинно бути перемінного підпору від гідротехнічних споруд, що розташовані нижче за течією.

### **5.2.2. Визначення напрямку гідрометричного створу**

Для точного визначення витрати води напрямок гідрометричного створу вибирають так, щоб поперечний переріз річки по лінії створу був перпендикулярним до осередненого напрямку течії.

У першому наближенні, а також при разових визначеннях витрат води, на прямолінійних ділянках річок шириною до 100 м, з видимою паралельністю струменів течії, напрямок



створу визначають окомірно, перпендикулярно загальному напрямку течії річки, орієнтуючись на напрямок берегів.

Напрямок створів, які призначені для систематичних вимірювань повинні бути визначені більш точно. На річках з широкою заплавою напрямок меженого створу може не співпадати з загальним напрямком течії на заплаві, утворюючи з нею деякий кут. Тому при куті менше 10 градусів допускається призначати один напрямок створу для русла та заплави; при куті більше 10 градусів – у вигляді ламаної лінії, кожний відрізок якої перпендикулярний до напрямку течії. На ділянках, де русло розчленоване на притоки, створи розбиваються окремо як для русла, так і для приток, для того, щоб була можливість враховувати повну витрату води, так і суму часткових витрат.

Як правило, на ділянці вимірювання призначається один гідрометричний створ, який співпадає із створом гідрологічного (водомірного) поста або знаходиться поблизу від нього. Однак, в деяких випадках, виникає необхідність мати два, а іноді і три створи. Це пов'язано з тим, що у різні періоди року можуть суттєво змінюватися умови протікання води (період повені, розвиток водної рослинності, льодові утворення тощо). В цьому випадку створ назначається з дотриманням вказаних вище умов, а також з розрахунком того, щоб між створами не було збільшення чи втрат стоку (впадіння приток, водозабірні споруди тощо).

Якщо гідрометричний створ віддалений від основного гідрологічного поста, то необхідно улаштувати водомірний пост при гідрометричному створі. За нуль графіка поста бажано приймати ту ж відмітку, що і на основному гідрологічному (водомірному) посту.

На річках з стійким руслом таку перевірку напрямку гідрометричного створу проводять один раз у три роки, якщо не виникло помітних на око змін потоку. На річках з нестійким руслом вимірювання напрямку або перенос створу виконується відразу після того, як він перестає задовольняти вимогам достатньо точного вимірювання витрат.



### **5.2.3. Визначення напрямку гідрометричного створу поверхневими поплавками**

Напрямок гідрометричного створу може бути визначений за траєкторією руху поверхневих поплавків. На рівнинних та гірських річках рух поплавків має свої особливості, які враховуються при визначенні напрямку створу.

Для цього на вибраній ділянці рівнинної річки розбивають три-п'ять допоміжних створів на віддалі в межах 0,5-2,0 ширини річки. Віддаль між верхнім і нижнім створами (магістраль) вимірюють мірною стрічкою. На 5-10 м вище гідроствору назначається пусковий створ, який позначається на берегах віхами і слугають для запуску поплавків. Інші створи теж закріплюються віхами, а на річках до 75-100 м їх можна закріпити тросами, які натягуються над поверхнею води.

На березі встановлюють геодезичний кутомірний інструмент (теодоліт або мензулу) так, щоб із її стоянки було добре видно поверхню річки на всій ділянці. При роботі з мензулою за допомогою кіпрегеля на планшет наносять створи та лінії урізів води обох берегів і отримують план русла річки на ділянці (рис. 5.1). При роботі з теодолітом проводять тахіметричну зйомку берегів та урізів води, за результатами обробки якої будують план ділянки річки.

При визначенні створу проводять такі вимірювання.

1. На пусковому створі, який обладнують на 5-10 м вище від першого створу, пускають послідовно 10-15 поплавків рівномірно по ширині річки.

2. За сигналом спостерігача виконують засічки кіпрегелем на мензульному планшеті місце перетину поплавків всіх створів (або визначають горизонтальний кут на теодоліті між напрямком магістралі та напрямком на місцях перетину поплавків створів).

3. За допомогою секундоміра визначають тривалість ходу кожного поплавка від верхнього до нижнього створу.

4. Для кожного поплавка обчислюють швидкість його руху за формулою



$$v = \frac{l}{t}, \quad (5.5)$$

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

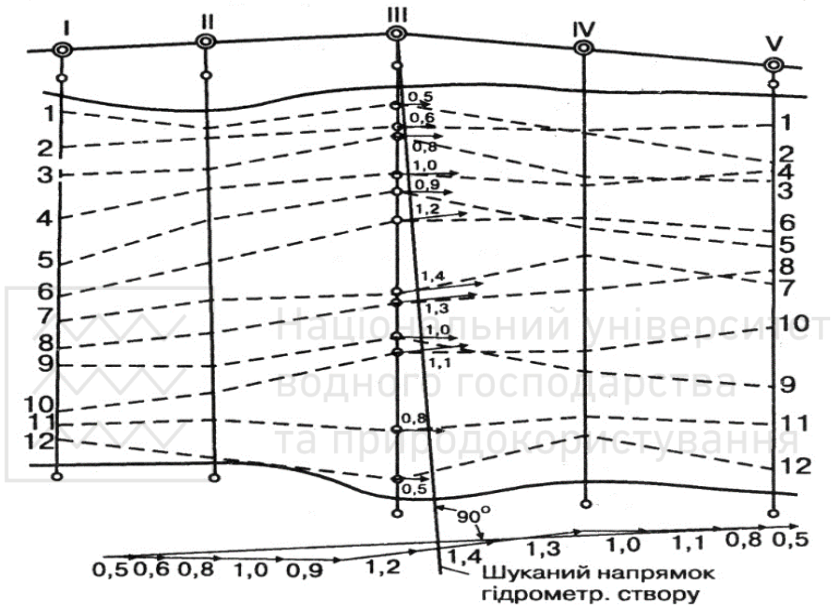


Рис. 5.1. Схема визначення напрямку гідрометричного створу при вимірюванні швидкостей поплавками

На планшеті будують траєкторію руху кожного поплавка. Для цього з'єднують пунктирною лінією місце їх положення на верхньому, середньому та нижньому створі. На лінії середнього створу, в точках перетину його поплавками, відкладають у вибраному масштабі (1 см – 1 м/с) вектори швидкостей кожного поплавка, як дотичні до траєкторії його руху. Напрямок вектору швидкості паралельний лінії, яка з'єднує положення поплавка на верхньому та нижньому створі. Починаючи з довільної точки



на вільній частині планшету (під схемою), переносять паралельно вектори швидкості поплавків та будують векторну діаграму (знаходять суму векторів) і визначають результуючий вектор, тобто будують пряму лінію, що з'єднає початок першого вектора і кінець останнього. Сума векторів і буде осередненим напрямком поверхневої течії води на даній ділянці. Перпендикуляр до результуючого вектора, який проведено через точку середнього створу на магістралі приймається за напрямок гідрометричного створу [2; 3; 10].

#### 5.2.4. Облаштування гідрометричного створу

Після закріплення гідрометричний створ облаштовується такими пристроями та обладнанням:

- 1) створним гідрологічним постом, якщо основний пост розташований далеко від створу;
- 2) реперами та при необхідності створними віхами;
- 3) обладнанням і пристроями для виконання промірних робіт і вимірювання швидкостей течії води;
- 4) водомірними постами для вимірювання похилу водної поверхні.

Гідрометричні створи, які використовують для довготривалих спостережень обладнують гідрометричними переправами, будова яких залежить від ширини, глибини річки та швидкості течії. Можуть використовуватися гідрометричні містки, гідрометричні люльки, дистанційні гідрометричні установки, гідрометричні тросові переправи.

Кількість швидкісних вертикалей і їх розподіл по створу призначається в залежності від способу вимірювання витрати води гідрометричною вертушкою, від ширини річки та обрисів лінії дна. Місце розташування швидкісних вертикалей на створі визначається відстанню від постійного початку (репера) на магістралі, від якого їм і дається порядкова нумерація. Крім основних швидкісних вертикалей, у процесі робіт може виникнути необхідність додаткових вертикалей: берегових; на межах мертвого простору. Якщо річка не широка і створ



обладнаний містком, положення швидкісних вертикалей закріплюють безпосередньо на настилі містка штрихом та підписом номера вертикалі. Якщо ж річка не широка і створ обладнано гідрометричною тросовою переправою, то по лінії створу натягують розмічений трос, а положення швидкісних вертикалей закріплюються на ньому спеціальними марками з номерами вертикалей. Якщо річка широка без тросової переправи, то положення швидкісних вертикалей може бути визначено засічками з берега кутомірними інструментами. При застосуванні цього способу засічки швидкісних вертикалей теодолітом або кіпрегелем, необхідно вибрати та закріпити на місцевості постійну стоянку інструменту. Для теодоліту необхідно обчислити таблицю горизонтальних кутів, складеними променями візування на швидкісній вертикалі і на постійні орієнтири базису.

### 5.3. Визначення витрат води за вимірними швидкостями течії за допомогою гідрометричної вертушки

Перед проведенням вимірювання швидкості течії води необхідно перевірити справність гідрометричної вертушки і її частин, а також наявність та справність рятувальних засобів для забезпечення безпеки робіт, стан всього обладнання гідрометричного створу.

При визначенні витрат води виконуються наступні роботи: 1) опис стану річки, погоди; 2) спостереження за рівнем води; 3) проміри глибин на гідрометричному створі; вимірювання швидкості течії води в точках живого перерізу на швидкісних вертикалях; 4) визначення повздовжнього похилу водної поверхні.

Результати всіх визначень та спостережень записують у «Книжку для запису визначення витрат води»: для визначених витрат води – КГ-3М, КГ-3МА, КГ-7М [10].

**Рівні води** вимірюють на найближчому водомірному посту. При відсутності водомірного поста визначають відмітку



рівня води шляхом нівелювання від найближчого висотного знаку з відомою відміткою. Рівень вимірюють не менше ніж 5 разів: перед початком і після закінчення вимірювання глибин; перед початком, під час і після закінчення вимірювання швидкостей. За виміряними рівнями визначають приведений рівень для заданої витрати, як їх середнє арифметичне.

**Проміри глибин** проводять на гідрометричному створі в два ходи. Різниця між виміряними глибинами на промірних вертикалях не повинна перевищувати 5 см.

**Швидкість течії** вимірюють однією гідрометричною вертушкою, яка послідовно переноситься з точки в точку на швидкісних вертикалях. Вимірювання починають з точок від дна до поверхні на кожній швидкісній вертикалі. Тривалість витримування вертушки в точці не повинна бути менше 100 с (при детальному, основному та скороченому способі).

**Повздовжній похил водної поверхні** визначають по похилому водомірному посту при його наявності. За відсутності такого поста похил визначають шляхом нівелювання водної поверхні.

Для цього, у районі гідрометричного створу, якомога ближче до урізу води, прокладають пряму лінію (магістраль), довжиною для рівнинних річок 400-500 м. Довжина магістралі повинна бути такою, щоб падіння поверхні води було не менше ніж 0,1 м. Мірною стрічкою вимірюють її довжину ( $L$ , м). Магістраль нівелюють за 4 класом точності. Визначають перевищення між верхнім та нижнім пікетом магістралі ( $\Delta_M$ , м). На верхньому та нижньому створі (що проходять через верхній та нижній пікет магістралі) на урізі води забивають кілки, верхній зріз яких повинен співпадати з поверхнею води. Нівелюють уріз води на верхньому та нижньому створі, визначаючи перевищення між пікетами магістралі та кілками на урізі ( $\Delta_B$ ,  $\Delta_H$ , м). Визначають падіння водної поверхні на даній ділянці за формулою

$$\Delta H = \Delta_M + \Delta_B + \Delta_H. \quad (5.5)$$

Повздовжній ухил водної поверхні визначають за співвідношенням





$$I = \frac{\Delta H}{L}. \quad (5.6)$$

Похиб прийнято визначати не менше 2-х разів перед початком та після закінчення вимірювань витрат води.

#### 5.4. Обчислення витрат води за виміряними швидкостями течії за допомогою гідрометричної вертушки

За результатами вимірянних швидкостей з використанням гідрометричної вертушки витрата води може бути визначена *аналітичним, графічним та графоаналітичним* способами.

Розглянемо *аналітичний спосіб*. Він полягає в тому, що для витрата води визначається як сума часткових витрат між швидкісними вертикалями, тобто витрату води обчислюють за формулою

$$Q = kv_1\omega_0 + \frac{v_1 + v_2}{2}\omega_1 + \dots + \frac{v_{n-1} + v_n}{2}\omega_{n-1} + kv_n\omega_n, \quad (5.7)$$

де  $Q$  – витрата води, м<sup>3</sup>/с;  $v_1, v_2, \dots, v_n$  – середні швидкості на швидкісних вертикалях, м/с;  $\omega_0$  – площа живого перерізу між берегом (межею мертвого простору, якщо він є) і першою швидкісною вертикаллю, м<sup>2</sup>;  $\omega_1, \omega_2, \omega_{n-1}$  – площі поперечного перерізу між суміжними вертикалями, м<sup>2</sup>;  $\omega_n$  – площа поперечного перерізу між останньою швидкісною вертикаллю і берегом, м<sup>2</sup>;  $k$  – коефіцієнт для швидкостей на прибережних швидкісних вертикалях, 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  $k = 0,9$ ; за наявності мертвого простору  $k = 0,5$  [4; 7; 10].

Площі між швидкісними вертикалями визначають як суму площ між промірними вертикалями. Значення середніх швидкостей на вертикалях обчислюють за емпіричними формулами 4.11-4.19.



Аналітичний спосіб визначення витрат води застосовується за результатами визначення витрати води гідрометричною вертушкою детальним, основним, скороченим та прискореним способами.

Результати визначення витрат води зводять у табл. 5.1.

Відповідно табл. 5.1 заповнюється у такому порядку: у 1 графу записуємо номери швидкісних вертикалей.

У 2 графу – глибину на швидкісних вертикалях (використані проміри глибин з табл. 3.2, у якій перша швидкісна вертикаль відповідає другій промірній, друга швидкісна – четвертій, третя швидкісна – шостій, четверта – восьмій, п'ята – десятій промірній. 3 графи 3 табл. 3.2 виписують відповідні глибини).

У графі 3 вказані точки опускання вертушки від поверхні в частках від глибини на вертикалі.

У 4 графі – розраховуємо глибину точок у метрах, множенням частки на глибину на вертикалі. Глибина для точки «поверхня» встановлюється на 0,1 м, глибина для точки «дно» встановлюється як різниця глибини на вертикалі на 0,1 м.

У 5 і 6 графи – записуємо загальну кількість обертів ( $N$ ) і тривалість спостережень ( $t$ ) в секундах в точках вимірювання вертушкою на швидкісних вертикалях (вихідні дані додаток В).

У 7 графу – записують кількість обертів лопатевого гвинта вертушки за одну секунду ( $n$ ), як відношення  $n=N/t$ .

У 8 графу – записують швидкість течії в точці, яку визначають за тарувальною кривою (в даному прикладі використано рівняння тарувальної кривої  $v=0,283n+0,38$ ).

У 9 графі – розраховуємо середню швидкість на швидкісній вертикалі за емпіричною формулою 4.13.

У 10 графі – знаходимо середню швидкість на швидкісній вертикалі. Для першої та останньої швидкісної вертикалі (1/2, 5/10) вона знаходиться множенням на 0,7 середньої швидкості на цих вертикалях. Між іншими швидкісними вертикалями (2/4, 3/6, 4/8) середню швидкість знаходять як середнє арифметичне значення середньої швидкості на суміжних швидкісних вертикалях.



Таблиця 5.1

Визначення витрат води

Номера швідкісних вертикалей	Глибина на вертикалях, м	Глибина точок від поверхні		В метрах	Загальна кількість обертів, N	Тривалість спостережень, t, с	Кількість обертів за 1 с, n	Швідкість течії в точці, m	Середня швідкість на вертикалі, $v_{ср}$ , м/с	Середня швідкість між вертикалями, м/с	Площа між швідкісними вертикалями, $\omega$ , м <sup>2</sup>	Витрата води між вертикалями, $Q$ , м <sup>3</sup> /с
		В частках глибини	В метрах									
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ур. пр. б.	1,15									0,55	5,68	3,12
		Пов.	0,1		200	115	1,74	0,87	0,79			
		0,2	0,23		200	117	1,71	0,86				
		0,6	0,69		200	144	1,39	0,77				
2/4	1,8									0,75	13,68	10,26
		0,8	0,92		200	159	1,26	0,74				
		Дно	1,05		200	194	1,03	0,67				
		Пов.	0,1		280	115	2,43	1,07	0,95			
		0,2	0,36		280	120	2,33	1,04				



продовження табл. 5.1

3/6	2,4	0,6	1,08	280	130	2,15	0,99	1,13	1,04	16,80	17,47
		0,8	1,44	280	195	1,44	0,79		1,04	17,40	18,10
		Дню	1,70	280	214	1,31	0,75				
4/8	1,9	Пов.	0,1	380	120	3,17	1,28	0,96	0,88	11,80	10,38
		0,2	0,48	380	125	3,04	1,24				
		0,6	1,44	380	135	2,81	1,17				
		0,8	1,92	380	205	1,85	0,90				
		Дню	2,30	380	219	1,73	0,87				
5/10	1,2	Пов.	0,1	280	113	2,48	1,08	0,80	0,88	11,80	10,38
		0,2	0,38	280	118	2,37	1,05				
		0,6	1,14	280	128	2,19	1,00				
		0,8	1,52	280	192	1,46	0,79				
		Дню	1,80	280	212	1,32	0,75				
Пов.	0,1	200	113	1,77	0,88						





У графу 11 записуємо площі між швидкісними вертикалями (з табл. 3.2, графа 7).

У графу 12 записують часткові витрати між швидкісними вертикалями ( $q$ , м<sup>3</sup>/с) як добуток середніх швидкостей на вертикалі на площу між швидкісними вертикалями.

Витрата, яка проходить через живий переріз руслі ( $Q$ ) буде дорівнювати сумі часткових витрат води між швидкісними вертикалями.

Розглянемо *графічний спосіб* визначення витрат води, виміряних гідрометричною вертушкою. Графічний спосіб визначення витрат води застосовують за результатами визначення витрати води вертушкою детальним способом.

Цей спосіб включає виконання ряду графічних побудов (рис. 5.1):

1. На аркуші міліметрового паперу А-5 будують профіль поперечного перерізу річки і наносять розрахунковий рівень води, враховуючи вимоги, які описані у розділі 3.3.

2. На тому ж аркуші креслять епюри швидкостей для кожної швидкісної вертикалі (див. розділ 4.9, рис. 4.20).

3. Обчислюють середні швидкості на вертикалях (див. розділ 4.9), для цього вимірюють планіметром або палеткою площу епюри.

Відношення площі епюри до глибини на швидкісній вертикалі дає середню швидкість на швидкісній вертикалі.

4. Будують над профілем епюру середніх швидкостей на швидкісних вертикалях по ширині річки (рис. 5.1), з якої знімають значення середніх швидкостей для кожної промірної вертикалі і записують у графу таблиці під профілем.

5. Визначають елементарні витрати води ( $q$ , м<sup>2</sup>/с) для всіх вертикалей (промірних та швидкісних). Для цього значення середніх швидкостей, знятих з епюри по ширині річки, множать на глибину ( $q = v_{сеп} \cdot h$ ) і отримані дані заносять у відповідний рядок під профілем, значення яких заокруглюють до сотих.

6. Будують епюру елементарних витрат води по ширині річки. Для цього значення елементарних витрат відкладають вверх від рівня води на профілі на кожній вертикалі і по одержаних точках проводять плавну лінію (рис. 5.1). Масштаб



вибирають так, щоб найбільше значення витрати води було 7-10 см. У вибраному масштабі 1 см – 0,20 м<sup>2</sup>/с за даними  $q$  для всіх промірних вертикалей будується епюра витрат по всій ширині річки. Вона повинна плавно повторювати хід епюри середньої швидкості і лінії дна. У випадку різкої зміни кривої необхідно перевірити обчислення і побудову.

7. Визначають витрату води, яка проходить через живий переріз русла. Для цього визначають площу епюри елементарних витрат планіметром або палеткою, яка обмежена лінією епюри та лінією поверхні води. Загальна витрата ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с) між вертикалями дорівнює добутку площі водного перерізу між швидкісними вертикалями на середню швидкість між ними.

8. Складають таблицю «Прийнятих даних» на вільній частині зліва від профілю, у якій вказують рівень води, морфометричні характеристики русла, обчислену витрату, середню швидкість потоку води, як відношення витрати до площі живого перерізу (див. рис. 5.1).



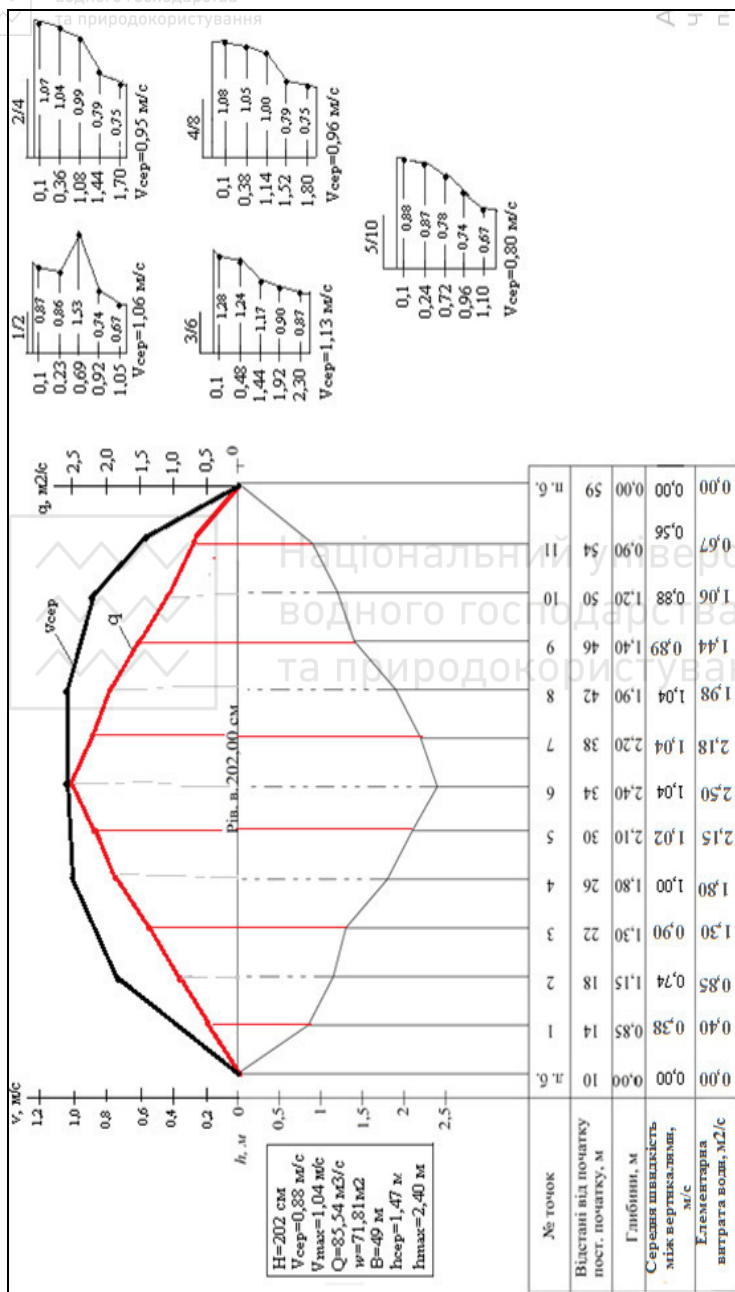


Рис. 5.1. Визначення витрати води графічним способом





## **5.5. Визначення витрат води за вимірними швидкостями течії за допомогою поверхневих поплавків**

Визначення витрат води за допомогою поверхневих поплавків виконують у випадку несправності або відсутності гідрометричної вертушки, а також тоді, коли гідрометричну вертушку використати неможливо (льодохід, лісосплав, аварійний стан гідрометричної переправи). При льодоході поплавками можуть бути помітні крижини, при лісосплаві – колоди. Поплавки широко використовуються при визначенні витрат води аерометодами.

Для визначення витрат води за допомогою поверхневих поплавків вище і нижче основного гідрометричного створу на рівних відстанях розбивають додатково два створи (верхній та нижній), які закріплюють на магістралі з таким розрахунком, щоб тривалість ходу поплавків між верхнім і нижнім створами була не менше 20 с. При швидкостях течії більше 2 м/с тривалість ходу поплавків може бути і менше, але не менше 10 с. Відстань по магістралі між верхнім і нижнім створами повинна бути вимірною з великою точністю – двічі стальною стрічкою. На відстані 5-10 м вище верхнього створу розбивають пусковий створ, позначаючи його віхами на берегах, інші теж аналогічно закріплюють віхами на берегах. На основному створі при ширині річки 75-100 м натягають розмічений трос.

Вимірювання швидкості течії поверхневими поплавками виконують у такій послідовності:

1. З пускового створу закидають у річку послідовно 15-20 поплавків. На широких річках закидають з човна, на вузьких – з берега. Поплавки запускають з 5-8 місць по ширині річки так, щоб через основний створ вони проходили групами по 2-4 поплавка.

2. При проходженні кожного поплавка через створи спостерігачі подають сигнали. При проходженні верхнього створу для кожного поплавка включають секундомір, а при проходженні нижнього виключають його, визначаючи тривалість ходу між верхнім та нижнім створами.



3. На основному створі в момент перетину його поплавком фіксують відстань від постійного початку до поплавка в створі. На річках шириною 20-30 м її визначають з берега за мітками перетягнутого через річку розміченого тросу. На річках з більшою шириною відстань визначають за мітками з тросу з човна. Якщо неможливо використати розмічений трос, то відстань визначають за допомогою засічки поплавка теодолітом. Для цього встановлюють теодоліт на пікеті верхнього або нижнього створу на магістралі. Вимірюють горизонтальний кут між напрямком на магістраль та напрямком визування на поплавок на середньому створі.

По основному створу у два ходи вимірюють глибини. Визначають рівні води: перед початком та після закінчення вимірювання швидкостей води та перед початком та після закінчення вимірювання глибин. Визначають повздовжній похил водної поверхні: перед початком та після закінчення вимірювання витрат води. Результати вимірювання витрат води виміряними поверхневими поплавками заносяться у книжку КГ-7М.

### **5.5.1. Обчислення витрат води за виміряними швидкостями течії поверхневими поплавками**

Обчислення витрат води при вимірюванні швидкості течії поверхневими поплавками включає: 1) оцінку повноти польових записів книжки; 2) обчислення розрахункового рівня води; 3) обробку даних промірних робіт; 4) побудову епюри розподілу тривалості ходу поплавків; 5) призначення швидкісних вертикалей і обчислення фіктивної витрати води; 6) визначення дійсної витрати води і заповнення таблиць даної книжки [10].

Якщо при вимірюванні швидкості течії води та глибин рівні води відрізняються менше, ніж на 10 см, то у якості розрахункового рівня води приймають найменший з них. У випадку, коли рівні відрізняються більше, ніж на 10 см, то робочий рівень води визначається як їх середнє арифметичне.



Обробка даних промірних робіт полягає у визначенні площі водного перерізу по основному створі та визначення його морфометричних характеристик русла.

Епюра будується на сітчатці, яка наведена у книжці КГ-М7. По осі абсцис відкладають відстані від постійного початку до місця перетину поплавком лінії середнього створу. По осі ординат відкладають тривалість ходу поплавків між верхнім та нижнім створами. Епюру тривалості ходу поплавків по ширині річки проводять по нанесеним точкам з урахуванням центрів тяжіння груп точок, які визначені околірно.

При плавному обрисі епюри швидкісні вертикалі призначають на рівних відстанях, обов'язково суміщаючи їх з промірними. Якщо епюри мають перегини, які співпадають з перегинами лінії дна, то призначають у цих місцях додаткові вертикалі. Для кожної швидкісної вертикалі з епюри знімають тривалість ходу поплавка ( $t_i$ , с). Для кожного поплавка обчислюють поверхневу швидкість ( $v_i$ , м/с) за співвідношенням  $v_i = L/t_i$ , де  $L$  – відстань на магістралі від верхнього до нижнього створу, м.

Обчислення фіктивної витрати води здійснюється за формулою

$$Q_\phi = kv_1\omega_0 + \frac{v_1 + v_2}{2}\omega_1 + \dots + \frac{v_{n-1} + v_n}{2}\omega_{n-1} + kv_n\omega_n, \quad (5.8)$$

де  $Q_\phi$  – витрата води, м<sup>3</sup>/с;  $v_1, v_2, \dots, v_n$  – поверхневі швидкості на швидкісних вертикалях, м/с;  $\omega_0$  – площа живого перерізу між берегом (або межею мертвого простору, якщо він є) і першою швидкісною вертикаллю, м<sup>2</sup>;  $\omega_1, \omega_2, \omega_{n-1}$  – площі поперечного перерізу між суміжними вертикалями, м<sup>2</sup>;  $\omega_n$  – площа поперечного перерізу між останньою швидкісною вертикаллю і берегом, м<sup>2</sup>;  $k$  – коефіцієнт для швидкостей на прибережних швидкісних вертикалях, 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  $k = 0,9$ ; за наявності мертвого простору  $k = 0,5$  [4; 7; 10].



Дійсна витрата води визначається за формулою

$$Q = Q_{\phi} K_l, \quad (5.9)$$

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

Величина  $K_l$  найбільш точно може бути визначена тільки дослідним шляхом при одночасному вимірюванні витрати води вертушкою та поплавками. При цьому за дійсну витрату  $Q_{\phi}$  приймають витрату, виміряну вертушкою. Значення  $K_l$  обчислюють за відношенням

$$K_l = Q_{\phi} / Q_{\phi} = \omega v / \omega v_{\text{пов}} = v / v_{\text{пов}}, \quad (5.10)$$

де  $\omega$  – площа живого перерізу річки;  $v$  – середнє значення швидкості течії усього потоку, виміряної вертушкою;  $v_{\text{пов}}$  – середнє значення поверхневої швидкості течії потоку, виміряної поверхневими поплавками.

Для визначення величини  $K_l$  при інших рівнях води проводять декілька паралельних вимірювань і будують графік залежності  $K_l$  від висоти рівня. Цю залежність можна використовувати при подальших вимірюваннях витрат води поплавками.

За відсутності даних дослідного визначення коефіцієнт  $K_l$ , його наближені значення можна приймати за табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Наближені значення коефіцієнта  $K_l$  (за Г.В. Железняковим) [18]

Характеристика русла, заплави (умови течії)	Середня глибина, м		
	< 1	1-5	>5
Русла прямі, чисті земляні (глина, пісок), галькові, гравійні	0,80	0,84	0,86
Русла звивисті, частково зарослі травою, кам'яністі. Заплави порівняно розроблені з рослинністю (трава, рідкий чагарник)	0,75	0,80	0,83



продовження табл. 5.2

Русла та заплави значно зарослі, з глибокими промоїнами. Русла звивисті з наявністю крупних валунів	0,65	0,74	0,80
Заплави суцільно лісові тайгового типу	0,57	0,69	0,75

Для наближеного визначення коефіцієнту  $K_1$  можна застосовувати емпіричні формули. Наприклад, формули Г.В. Железнякова та І.Ф. Карасьова.

$$K_1 = 0,61(C^*)^{0,125}, \quad (5.11)$$

$$K_1 = 0,77 + 0,043\sqrt{C^* - 3,8}, \quad (5.12)$$

при цьому  $C^* = C/\sqrt{g}$ , де  $C$  – коефіцієнт Шезі;  $g$  – прискорення вільного падіння. Коефіцієнт Шезі визначають за формулою Н.Н. Павловського.

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (5.13)$$

де  $n$  – коефіцієнт шорсткості;  $R$  – гідравлічний радіус, який на рівнинних річках приймають рівним середній глибині потоку, м;  $y$  – показник ступеня, який визначають за формулою

$$y = 2,5n - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10). \quad (5.14)$$

Коефіцієнт шорсткості визначають за таблицями залежності від характеристик русла [4; 7; 10]. Для визначення коефіцієнта Шезі за формулою Н.Н. Павловського складена таблиця [4; 7], у якій використовують значення  $R$  та  $n$ .

Також для визначення  $K_1$  широко застосовують емпіричні формули:

$$K_1 = \frac{C}{C + 6}, \quad (5.15)$$

$$K_1 = \frac{C^{2/3}}{C^{2/3} + 1,6}. \quad (5.16)$$



На практиці перехідний коефіцієнт можна визначити гідравліко-гідрометричним способом Г.В. Железнякова

$$K_1 = 1 - 1,85 \sqrt{\frac{I}{Fr_1}}, \quad (5.17)$$

де  $I$  – повздовжній похил водної поверхні;  $Fr_1$  – число Фруда, яке визначають за співвідношенням

$$Fr_1 = \frac{v_{нов}^2}{gh_{сер}}. \quad (5.18)$$

Тут  $v_{нов}$  – середня поверхнева швидкість, яку знаходять з відношення

$$v_{нов} = \frac{Q_\phi}{\omega}. \quad (5.19)$$

Середня глибина у живому перерізі визначається як відношення

$$h_{сер} = \frac{\omega}{B}, \quad (5.20)$$

де  $B$  – ширина річки, м.

## 5.6. Розрахунковий спосіб визначення витрат води

Цей спосіб дає можливість приблизно визначити витрати води, які не можливо виміряти іншими способами.

Здебільшого ним користуються при визначенні максимальних витрат води за мітками минулих паводків і повеней. Рівень високих вод встановлюють за відкладами на берегах і кущах рослинного сміття (трави, водоростей) та намулистих утворень, за розмивами берегів за зливом наносної породи. Положення високих вод перевіряють опитуванням місцевих жителів. При визначенні рівня високих вод необхідно впевнитися, щоб він не був підпорним (від затору льоду).

Сутність цього способу полягає в тому, що площа живого перерізу ( $\omega$ ) визначається за поперечним профілем річки, а середня швидкість течії потоку ( $v$ ) – за формулою Шезі. Величина витрати води може бути отримана множенням площі



на середню швидкість

$$Q = \omega \cdot v. \quad (5.21)$$

Формула Шезі має вигляд

$$v = C\sqrt{RI}, \quad (5.22)$$

де  $C$  – коефіцієнт Шезі, що має розмірність  $m^{0.5}/c$ ;  $R$  – гідравлічний радіус ( $R=h_{сер}$ ), м;  $I$  – повздовжній ухил водної поверхні. Коефіцієнт Шезі визначають за емпіричною формулою Н.Н. Павловського (5.13, 5.14).

На ділянці, яка виділена для визначення витрат води розбивають три створи (на початку, у середині та в кінці). Створи розташовують в характерних місцях. По створах у руслах промірюють глибини і проводять нівелювання до міток високих вод. Для кожного створу визначають  $\omega$  та  $h_{сер}$ . За обстеженням кожного з створів визначають коефіцієнт шорсткості  $n$ . Повздовжній ухил водної поверхні визначають за результатами нівелювання або міток високих вод, або водної поверхні. Довжина ділянки нівелювання повинна бути такою, щоб падіння поверхні води було не менше 0,5 м. Для визначення витрати води приймають величини  $\omega$ ,  $h_{сер}$  та  $n$  як середнє арифметичне, обчислене для кожного створу.

При визначенні витрат води на річках з широкою заплавою рекомендують обчислювати окремо витрати води для основного русла, правобережної та лівобережної заплави. Загальна витрати одержується додаванням зазначених часткових витрат води.

Цей спосіб справедливий для прямолінійних ділянок з правильною формою поперечного перерізу русла, незарослого водною рослинністю (при рівномірному русі води). При виході на заплаву за умови, що її поверхня рівна, незаросла, спостерігається паралельність та прямолінійність осей головного русла і заплави, можна вважати рух води у руслі та на заплаві рівномірним.

Приклад таблиці витрати води р. Горинь – смт. Ямпіль у 2016 році з Гідрологічного щорічника представлено на рис. 5.2. У ній максимальні витрати води виділено червоним кольором, а мінімальні – синім.



Форма А Т. II, Вит. 2, 2016  
Н=112 мм F=1400 кв. км

26. 79513. Р. Горинь - сев. Якітіль

Таблиця 1.3. Витрата води, куб. м/с  
M=3.55 л/с кв. км

Число	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	витрата	дата	витрата	дата	витрата	дата	витрата	дата	витрата	дата	витрата	дата	витрата	дата	витрата	дата	витрата	дата	витрата	дата	витрата	дата	витрата	дата
1	4.51	7.24	5.85	4.61	4.37	4.10	4.98	3.20	2.79	3.64	4.38	5.85												
2	4.33	6.75	6.00	4.48	5.55	4.10	4.70	3.09	2.82	3.64	4.51	5.85												
3	4.39	6.30	5.85	4.23	4.15	3.87	3.96	3.05	2.82	3.64	4.51													
4	4.99	6.30	5.85	4.23	4.15	3.87	3.96	3.05	2.82	3.64	4.51													
5	3.88	5.85	5.70	4.23	6.00	3.87	6.20	2.94	2.82	3.64	4.51													
6	4.29	5.70	4.23	4.23	5.40	3.87	7.75	2.94	2.82	3.64	4.51													
7	4.69	5.40	5.85	5.40	5.40	3.87	7.24	2.94	2.82	3.64	4.51													
8	5.05	5.40	6.15	6.00	5.40	3.76	6.90	2.94	3.22	6.90	4.51													
9	5.27	5.12	6.00	6.15	6.00	3.76	6.30	2.94	3.44	5.85	4.56													
10	5.27	4.98	6.30	5.70	6.30	3.42	5.85	2.94	3.44	5.85	4.56													
11	5.42	4.98	6.30	5.70	6.00	3.54	5.40	2.94	3.44	5.12	5.55													
12	5.70	5.26	6.30	5.40	5.55	3.54	5.40	2.94	3.44	5.12	5.55													
13	5.22	6.30	6.15	4.20	6.15	4.13	4.98	3.01	2.79	3.64	4.51													
14	6.49	6.15	6.15	4.31	7.07	3.42	4.13	2.79	3.71	6.05	5.38													
15	6.49	6.30	6.15	4.31	7.07	3.42	4.13	2.79	3.71	6.05	5.38													
16	6.49	6.30	6.15	4.55	7.58	3.42	4.13	2.79	3.71	6.05	5.38													
17	6.49	6.60	6.00	4.20	6.40	3.54	4.02	2.90	3.92	5.70	5.86													
18	6.28	6.45	5.70	3.97	7.07	3.31	4.02	2.90	3.92	5.70	5.86													
19	5.86	6.00	5.70	3.97	6.60	3.31	3.78	2.90	3.97	5.70	6.28													
20	5.58	5.85	5.70	3.97	6.45	3.31	3.78	3.01	4.06	5.70	6.28													
21	5.58	5.85	6.00	3.97	6.00	3.31	3.55	3.01	4.71	5.55	7.77													
22	5.72	5.40	6.00	3.97	5.70	3.20	3.55	3.01	4.71	5.55	7.77													
23	5.72	5.40	6.00	3.97	5.70	3.20	3.55	3.01	4.71	5.55	7.77													
24	5.58	7.24	6.75	3.97	5.40	3.20	3.44	3.13	5.70	5.26	9.45													
25	5.58	7.24	6.75	3.97	5.40	3.20	3.44	3.13	5.70	5.26	9.45													
26	5.72	7.41	6.90	4.08	4.20	3.09	3.32	3.13	5.55	5.40	8.77													
27	6.49	6.60	6.00	3.97	4.15	3.09	3.32	3.13	4.38	5.40	7.92													
28	6.49	6.60	6.00	3.97	4.21	3.13	3.20	3.01	4.28	5.40	7.24													
29	7.44	5.70	5.40	3.97	3.87	4.08	3.20	3.01	4.00	4.73	6.90													
30	8.56	7.44	5.70	3.97	3.87	4.35	3.20	2.90	3.88	6.45	4.58													
31	7.92	8.56	4.61	3.97	5.40	3.20	2.90	2.90	3.64	4.38	5.70													
Дев'ять	4.56	5.87	4.93	3.87	3.87	3.09	3.20	2.90	2.79	3.64	4.38													
1	4.56	5.87	4.93	3.87	3.87	3.09	3.20	2.90	2.79	3.64	4.38													
2	6.04	5.99	6.05	4.57	6.56	3.85	6.78	3.00	2.99	5.18	4.59													
3	6.04	6.41	6.04	3.99	6.42	4.35	6.78	3.00	2.99	5.18	4.59													
Середня	5.69	6.08	6.00	4.50	5.57	3.63	4.77	2.96	3.84	5.28	6.16													
Найбільша	9.04	8.26	6.15	7.58	5.40	10.5	10.5	3.20	5.70	6.90	9.45													
Найменша	3.88	4.98	4.61	3.97	3.87	3.09	3.20	2.90	2.79	3.64	4.38													
Середня витрата	4.97	10.5	04.07	перша дата	число випусків	Найменша витрата	перша дата	число випусків	Найменша витрата	перша дата	число випусків													
За рік	6.29	384	04.04.1956	перша дата	число випусків	остання дата	остання дата	число випусків	остання дата	остання дата	число випусків													
1943-1944, 1943-2016					1	(0.12)	13.08	01.09	7	0.38	05.01	1												
					1		08.07.1946		1	0.33	21.01.1973	1												

Рис. 5.2. Приклад таблиці витрати води з Гідрологічного щорічника





## РОЗДІЛ 6. КРИВІ ВИТРАТ ВОДИ

Між витратою води в річці та рівнем існує певна гідравлічна залежність. Графічний її вираз називається кривою витрат води. Якщо розглядати поняття ширше, то *кривою витрат води* називається графік залежності для даного перерізу річкового русла між рівнем і витратою води. Криві витрат використовують для підрахунку стоку. Зазвичай величину стоку визначають за минулий рік. Зв'язок рівнів та витрат води має корелятивний характер. У гідрометрії прийнято визначати залежність витрат води від рівнів води  $Q = f(H)$ . Фізично незалежною змінною є витрата води, а функцією є рівень води. Так прийнято тому, що вимірювання рівнів на постах проводять щоденно, а визначення витрат води, внаслідок великої трудомісткості, проводять значно рідше. Найчастіше витрати визначають у період найбільших їх змін. На підйомі весняної повені зазвичай визначають 4-5 витрат, а на спаді – 5-8. У межень одне вимірювання проводять через 7-10 днів. При проходженні паводків визначають 1-2 витрати на підйомі та 2-3 витрати на спаді паводку. При стійкому льодоставі і плавній зміні рівня води, витрати визначають через 10-20 діб.

Залежність  $Q=f(H)$  може бути однозначною та неоднозначною. Якщо ця залежність виражена у вигляді однієї плавної кривої, коли певному значенню рівню відповідає одне значення витрати води, то вона називається *приблизно однозначною* або *однозначною*. Однозначна крива витрат завжди направлена опуклістю вгору. Така залежність зберігається протягом обмеженого часу, вона порушується сезонними явищами (льодові утворення, водна рослинність). Неоднозначною (нестійкою) залежністю витрат води від рівнів називають такий зв'язок, коли значення витрат залежить не тільки від рівня, але й від будь-якої іншої змінної в часі величини (наприклад, від похилу річки, від ступеня стиснення живого перерізу льодом та живою рослинністю, від несталого руху води, від деформації русла, від змінного підпору). У таких випадках, одному і тому ж рівню води відповідає декілька різних значень витрат води.



Основою для побудови кривої витрат води є визначені витрати води та відповідні їм рівні води, які за річний період зведені до таблиці «Визначені витрати води». Для побудови кривої витрат використовують всі визначені витрати протягом року.

Вибору способу побудови кривої витрат повинно передувати нанесення на координатне поле точок витрат, площ живого перерізу, середніх швидкостей залежно від рівня води. При нанесенні точок можливі такі випадки їх розташування:

1) точки витрат, площ і швидкостей групуються так, щоб через них можна було провести осереднені криві (наявність однозначної залежності витрат та рівнів води);

2) точки швидкостей утворюють правильно розташовану систему, а точки площ і витрат розкидані або ж утворюють декілька систем (за умов розмиву русла);

3) точки площ живого перерізу групуються в одну систему, коли можна провести осереднену криву, а точки швидкостей і витрат розкидані у полі координат, або ж утворюють декілька систем (заростання русла, льодостав).

Незалежно від способу побудови і екстраполяції кривих витрат необхідно, в першу чергу, провести ретельний аналіз вихідних даних.

## **6.1. Побудова кривої витрат при однозначній залежності між витратами та рівнями води**

### **6.1.1. Аналіз вихідних даних**

Попередньо проводять аналіз вихідних даних на основі таблиці «Визначених витрат води». При цьому необхідно співставити значення рівнів у дні визначених витрат, з рівнями на ці ж дати в книжці водомірних спостережень та в річній таблиці щоденних рівнів води. Значення рівнів води у річній таблиці та визначені витрати можуть не співпадати, тому що в річній таблиці наведено середньодобові рівні води. Також перевіряють визначення середньої швидкості течії води ( $v_{сер}$ ) за співвідношенням



$$v_{сер} = \frac{Q}{\omega} \cdot \quad (6.1)$$

Якщо  $v_{сер}$ , яке наведено в таблиці «Визначені витрати води» та  $v_{сер}$ , яке визначено за наведеною залежністю, відрізняється більше ніж на 5%, то розглянута витрата води може вважатися ненадійною і її можна не враховувати при проведенні кривої витрат води.

### 6.1.2. Встановлення амплітуди коливання рівнів води та вибір масштабів для побудови кривої витрат води

Визначають амплітуду коливання рівнів при визначенні витрат води ( $A_Q$ ), яка дорівнює різниці між максимальним рівнем води при визначенні витрат води та мінімальним рівнем води при визначенні витрат води.

Знаходять амплітуду рівнів води за рік ( $A$ ), як різницю між найвищим рівнем та найнижчим рівнем води за рік, використовуючи річну таблицю рівнів води.

Знаходять відношення між амплітудами, тобто  $A_Q/A$ . Крива витрат води буде вважатися достатньо надійною, якщо амплітуда рівнів освітлена визначеними витратами води не менше, ніж на 80%, тобто  $(A_Q / A) \cdot 100\% \geq 80\%$

При виборі масштабів необхідно враховувати точність графічного визначення витрат води, які знімаються з кривої для складання розрахункової таблиці. Рекомендуються такі масштаби побудови:

- для рівнів ( $H$ ) – 1 см на графіку відповідає 2; 5; 10; 20; 50; 100 см рівня води;

- для витрат ( $Q$ ) – 1 см на графіку відповідає 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000 м<sup>3</sup>/с;

- для площ ( $\omega$ ) – 1 см на графіку відповідає 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000 м<sup>2</sup> площі живого перерізу;

- для швидкостей ( $v$ ) – 1 см на графіку відповідає 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 м/с середньої швидкості течії.



При великій амплітуді коливання витрат нижню частину кривої, приблизно 20-30% амплітуди рівнів, креслять у збільшеному в 5-10 разів масштабі.

Масштаб для побудови кривих вибирається так, щоб хорда, яка сполучає кінці кривої витрат  $Q=f(H)$ , була розташована приблизно під кутом 45 градусів до осі абсцис, а для кривих площ живого перерізу  $\omega=f(H)$  і середніх швидкостей  $v=f(H)$  – під кутом 60 градусів.

### 6.1.3. Побудова кривої витрат води

На осі ординат відкладають рівні, а на осі абсцис – витрати, площі живого перерізу і середні швидкості, причому їхній масштаб буде різний для кожного значення, а масштаб рівнів води буде однаковий для всіх трьох кривих.

Якщо визначення витрат води виконувалося не в одному, а в декількох створах (період повені, межені), то криві витрат будуються окремо для кожного створу.

Значення  $Q$ ,  $\omega$ ,  $v$  наносять на координатне поле. Точки, які відповідають витратам води, які визначені за допомогою швидкості течії, вимірної гідрометричної вертушки влітку, позначають кружечками діаметром 1 мм; витратам, визначеним за допомогою швидкості течії, вимірної поплавками – трикутниками; витратам, визначеним в зимовий період – замальованими чорними кружечками; витратам, визначеним при заростанні русла – квадратами. Біля нанесених точок з правої сторони проставляють порядковий номер витрати за таблицею визначених витрат води.

Вивчаючи спільне розміщення точок на графіках витрат, площ водного перерізу і середніх швидкостей, можна отримати уявлення про причини, які викликають їх відхилення від кривих.

Якщо точки витрат, площ і швидкостей утворюють на графіку правильно розташовані системи, то це свідчить про стійкість русла і відсутність явищ змінного підпору. В цьому випадку крива витрат будується звичайним графічним способом. Окремі точки витрат, які відхиляються від кривої потрібно перевірити за кривими площ та швидкостей, а у



випадку необхідності за журналами визначених витрат води. Точки витрат, визначених за допомогою швидкості течії, вимірної поплавками, можуть відхилятися від кривої не тільки у зв'язку неточного встановлення перехідного коефіцієнта, але і у зв'язку із впливом вітру, що може бути встановлено на основі інформації, яка характеризує стан погоди і річки. Остаточно проводити криві можна тільки після детального аналізу всіх точок, які відхилені від кривих (особливо на кінцях кривих) і встановлення найбільш надійних (опорних) точок. Необхідно відмітити, що відстань точок на графіках витрат може викликатися неточністю визначення витрат води, несприятливими умовами погоди і станом річки, а також визначенням витрат води, враховуючи швидкість течії, вимірної гідрометричними вертушками різних видів, застосуванням різних методів вимірювання швидкостей течії води на вертикалях і різних методів обчислення витрат води. Точки витрат, які відхиляються від загального їх розташування у межах 5-10%, повинні бути враховані при проведенні усередненої кривої витрат, а окремі різко відхилені точки відкинуті.

При побудові кривих  $Q=f(H)$ ,  $\omega=f(H)$  і  $v=f(H)$  враховуються тільки визначені витрати в період, коли русло потоку вільне від льодового покриття, а значення витрат зимового періоду і періоду заростання русла наносяться для співставлення, так як надалі стік за ці періоди розраховується із введенням перехідних коефіцієнтів. Аналізуючи розташування нанесених точок за період, коли русло вільне від льодового покриття, необхідно перевірити дотримання правила, щоб на кожний 10% інтервал амплітуди рівня припадало 2-5 витрат.

Крива площ  $\omega=f(H)$  зазвичай має випуклість вгору, що зумовлено розширенням профілю поперечного перерізу річки із збільшенням рівня води. При виході води на заплаву збільшується площа водного перерізу, і її точки відхиляються вправо.

Крива швидкостей  $v=f(H)$  має випуклість до осі швидкостей, а при виході води на заплаву має перелом до осі



рівнів. Це зумовлено зменшенням середньої швидкості течії у зв'язку із зростанням площі живого перерізу.

При нанесенні точок необхідно перевірити, щоб для кожної дати визначеної витрати значення витрат площі і середніх швидкостей точно відповідали одному положенню рівня води.

Побудову кривих витрат, площ та середніх швидкостей проводять тільки для витрат води, визначених у вільний від льоду період та при відсутності заростання русла.

Криві проводять від руки так, щоб праворуч та ліворуч від кожної з них розташувалися приблизно однакова кількість точок з близькими значеннями рівнів води. Якщо нанесені точки, які розташовані у вигляді окремих груп, то криві проводять за центрами тяжіння, що відповідають середнім значенням рівнів, витрат, площ та швидкостей цих груп.

Приклад побудови кривих  $Q=f(H)$ ,  $\omega=f(H)$  і  $v=f(H)$  зображено на рис. 6.1.

Побудова кривих розпочинається з кривої  $\omega=f(H)$ . За нею будується залежність  $v=f(H)$ , далі будується крива  $Q=f(H)$ . Всі криві будуються у межах амплітуди рівнів при визначених витратах ( $A_0$ ).

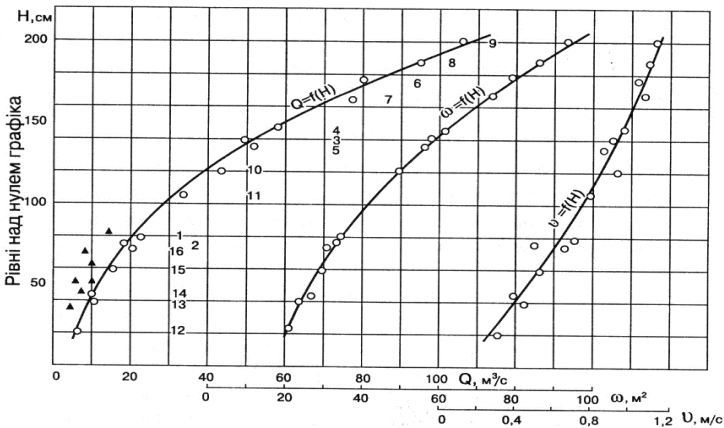


Рис. 6.1. Криві витрат води, площ живого перерізу і середніх швидкостей течії



У випадках значної амплітуди коливання рівнів ( $A_Q$ ) та якщо відношення найбільшої визначеної витрати до найменшої визначеної витрати буде більше ніж 20, то на цьому ж кресленні у збільшеному масштабі будують нижню частину кривої витрат до рівня, який відповідає не менше 20-30% амплітуди ( $A_Q$ ).

#### 6.1.4. Ув'язка кривих та складання розрахункової таблиці для кривої витрат води

Усі три криві мають бути проведені так, щоб добуток швидкостей та площ, знятих з кривих при однакових рівнях, завжди відповідав витраті, знятої з кривої витрат.

Криві  $Q = f(H)$ ,  $\omega = f(H)$  і  $v = f(H)$  пов'язані між собою рівнянням витрати води  $Q_{обч} = \omega_{кр} \cdot v_{кр}$ , за яким їх взаємно ув'язують. Для цього через кожні 10% амплітуди ( $A_Q$ ) коливання рівнів води з кривих  $Q = f(H)$ ,  $\omega = f(H)$  і  $v = f(H)$  знімають значення  $Q_{кр}$ ,  $\omega_{кр}$ ,  $v_{кр}$ , отримують  $Q$ , яке повинно дорівнювати  $Q_{кр}$ , знятому з кривої. Знаходять відхилення  $\Delta Q$  за формулою

$$\Delta Q = \frac{Q_{кр} - Q_{обч}}{Q_{обч}} \cdot 100\% \leq 1\%. \quad (6.2)$$

Якщо відхилення  $\Delta Q > 1\%$ , то криві (криву) виправляють (змінюють форму кривих), знімають значення  $Q_{кр}$ ,  $\omega_{кр}$ ,  $v_{кр}$ , з побудованих наново кривих, знаходять  $Q_{обч}$  і знову визначають  $\Delta Q$ .

Ув'язку кривих можна проводити у такій послідовності. Спочатку змінюють положення кривої швидкостей при незмінному положенні кривих площ та витрат, визначають  $v_{кр}$  та  $\Delta Q$ . Якщо  $\Delta Q > 1\%$ , то надалі при незмінному положенні кривої витрат та швидкостей, змінюють положення кривої площ, з якої визначають  $\omega_{кр}$  та обчислюють  $\Delta Q$ . Якщо  $\Delta Q > 1\%$ , то надалі при незмінному положенні кривих площ та швидкостей, змінюють форму кривої витрат, з якої знімають  $Q_{кр}$  та  $\Delta Q$ .

Ув'язування кривих проводять у табличній формі (табл. 6.1). Ув'язування кривих  $Q = f(H)$ ,  $\omega = f(H)$  і  $v = f(H)$



проводять для рівнів води у межах амплітуди ( $A_Q$ ) визначених витрат води.

Користуючись кривою витрат, складають розрахункову таблицю витрат (таблицю координат) (табл. 6.2), яку потім використовують для визначення витрати води за рівнем води.

Таблиця 6.1

Ув'язування кривих  $Q = f(H)$ ,  $\omega = f(H)$  і  $v = f(H)$

$H$ , см	Значення з кривої			$Q_{обч} = \omega_{кр} \cdot v_{кр}$ м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q$ , %
	$Q_{кр}$ , м <sup>3</sup> /с	$\omega_{кр}$ , м <sup>2</sup>	$v_{кр}$ , м/с		
30	8,50	22,0	0,39	8,58	0,93
50	12,0	25,0	0,48	12,0	0
70	30,2	41,4	0,73	30,22	0,07

Таблицю складають таким чином. З кривої  $Q = f(H)$  через інтервал від 5 до 20 см знімають значення витрати води. Необхідно враховувати, щоб відрізки кривої в межах інтервалу можна було прийняти за прямі.

Величини інтервалів рівня води для яких значення витрат знімають з кривої, визначають залежно від кривизни окремих її ділянок для того, щоб витрати, які визначені інтерполяцією відхилялися від кривої у нижній її частині не більш як на 2-3%, а у середній і верхніх частинах – не більш як на 1-1,5%.

Таблиця 6.2

Розрахункова таблиця витрат води

Рівні, см	Витрати, м <sup>3</sup> /с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
220										88,10
330	8,50	88,85	99,20	99,55	99,90	110,25	110,60	110,95	111,30	111,65
440	112,0	113,82	115,64	117,46	119,28	221,10	222,92	224,74	226,56	228,38
550	330,2	333,47	336,74	440,01	443,28	446,55	449,82	553,09	556,36	559,63
660	662,9	666,2								





Зазвичай, приймають інтервал рівня 10 см у межах амплітуди визначених витрат води. Наприклад, найменший рівень при визначенні витрат складає 29 см, що на кривій  $Q=f(H)$  відповідає витраті 8,10 м<sup>3</sup>/с (табл. 6.2), а найбільший рівень при визначенні складає 61 см, що відповідає витраті 66,2 м<sup>3</sup>/с. Вся амплітуда рівнів розбивається на рівновеликі інтервали по 10 см рівня води (30, 40, 50, 60). Для них знімають з кривої  $Q=f(H)$  значення витрат і записують в графу «0» (табл. 6.2). Значення витрат для кожного сантиметра інтервалів рівня визначають за лінійною інтерполяцією і записують у відповідну графу. Приріст витрат за окремими інтервалами рівнів повинен рівномірно збільшуватися, або залишатися постійним із зростанням рівнів води. Наприклад, інтервал 30-40 см, приріст витрат  $12,0-8,50=3,5$  м<sup>3</sup>/с, інтервал 40-50 см, приріст витрат –  $30,2-12,0=18,2$  м<sup>3</sup>/с і т. д.

### 6.1.5. Оцінка надійності кривої витрат води

Перевірку надійності знайденої залежності  $Q=f(H)$  проводять за такими статистичними показниками: ймовірна похибка відхилень визначених витрат води від кривої витрат (табл. 6.3); забезпеченість відхилень визначених витрат води від кривої (табл. 6.4).

Середня ймовірна похибка обчислюється за формулою

$$\sigma = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (\Delta\sigma)^2}{n}}, \quad (6.3)$$

де  $\Delta\sigma$  – відносне відхилення визначених витрат за розрахунковою таблицею, %;  $n$  – кількість визначених витрат.

Обчислення цієї похибки виконується за всіма визначеними витратами води, які прийняті для побудови кривої витрат.

За табл. 6.3 сума квадратів відхилень становить 27,23%, середня ймовірна похибка відхилень складає 1,76%. У даному прикладі, це свідчить, про задовільний зв'язок між витратами з кривої і вимірними. Отриману залежність  $Q=f(H)$  рахують



надійною, якщо ймовірна похибка знаходиться у межах не більше ніж 2-4%.

Таблиця 6.3

Підрахунок ймовірної похибки побудови кривої  $Q = f(H)$

№ витрати	Виміряні		$Q_2, \text{ м}^3/\text{с}$ з розрахункової таблиці	$\pm \Delta Q = Q_1 - Q_2$	$\pm \Delta \sigma \% = \frac{\Delta Q}{Q_1} \cdot 100$	$\Delta \sigma^2$
	$H, \text{ см}$	$Q_1, \text{ м}^3/\text{с}$				
10	34	9,50	9,90	-0,4	-4,21	17,7
11	38	11,5	11,3	0,2	1,74	3,03
12	45	21,3	21,10	0,2	0,94	0,88
13	41	13,5	13,82	-0,32	-2,37	5,62
						$\Sigma(\Delta \sigma^2) = 27,23\%$

Забезпеченість відхилень визначених витрат визначається для меж відхилень 0-5%, 6-10%, 11-15% та більше 15%. За значеннями відносних відхилень  $\Delta \sigma, \%$  в таблиці підрахунку ймовірної похибки побудови кривої витрат, знаходять число випадків відхилень в зазначених межах (табл. 6.4).

Таблиця 6.4

Забезпеченість відхилень визначених витрат від кривої витрат

Межі відхилень, %	Число випадків		Забезпеченість	
	абс.	%	абс.	%
0-5	4	100	4	100
6-10	-	-	-	-
11-15	-	-	-	-
>15	-	-	-	-

Також знаходять число випадків відхилень визначених витрат у відсотках від кількості визначених витрат. Знаходять



забезпеченість відхилень для зазначених меж, послідовним додаванням числа випадків відхилень.

Побудована залежність  $Q=f(H)$  вважається надійною, якщо число випадків відхилень витрат у межах 0-10% близьке до 90%-ї забезпеченості.

## 6.2. Екстраполяція кривих витрат води

*Екстраполяцією кривих витрат води* називають продовження її вгору і вниз за межі визначених витрат води. Екстраполяція необхідна для визначення стоку води за всією амплітудою коливання рівнів води. На практиці під час високих повеней та паводків визначення витрат води пов'язане з технічними труднощами. У таких випадках, щоб обчислити стік за всю амплітуду коливання рівнів води, криву витрат необхідно продовжити (екстраполювати) вгору до найвищого рівня води. Також екстраполяція проводиться і до найнижчих рівнів води. Вона необхідна для вирішення завдань, пов'язаних з гідротехнічним будівництвом. Прийнято вважати криву витрат надійною, коли вона обґрунтована визначеними витратами на 80% і більше амплітуди коливання рівнів і, тому екстраполяція вгору може бути надійною на відрізку, що не перевищує 15-20% амплітуди рівнів, а вниз, коли не перевищує – 5% амплітуди рівнів. На графіках екстрапольовані ділянки кривих показують пунктирною лінією.

### 6.2.1. Екстраполяція кривих витрат води вгору

Екстраполяція кривої до максимального рівня може проводитися для умов беззаплавних та заплавних створів. Створ, у якому немає заплави і при найвищих рівнях води потік залишається у головному руслі, називається беззаплавним. Для таких створів найбільш широко екстраполяцію вгору проводять двома методами: а) безпосереднім продовженням кривої; б) за елементами витрати.

*Екстраполяція кривих безпосереднім продовженням* виконується тоді, коли не обґрунтована визначеними 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. Криву, в такому випадку, продовжують на око за тенденцією до позначки найвищого рівня води.

*Екстраполяція кривих витрат води за елементами витрати* полягає в тому, що окремо екстраполюють криву  $v=f(H)$  та криву  $\omega=f(H)$ . Екстрапольовані частини цих кривих використовують для продовження кривої витрат до найвищого рівня води. Криву площ продовжують вверх, визначаючи за поперечним профілем створу площу живого перерізу при заданих високих рівнях води. Криву середніх швидкостей екстраполюють безпосереднім продовженням на око за тенденцією.

Екстрапольоване значення найбільшої витрати визначають як добуток площі живого перерізу на середню швидкість при найбільшому рівні, який спостерігався. Надалі, обґрунтовану частину витрат продовжують вверх до найбільшої витрати, яка визначена за екстраполяцією. Цей метод може бути застосований, коли екстраполяція проводиться не більше, ніж на 15-20% амплітуди коливання рівнів води.

Гідрометричні створи, які мають односторонню та двосторонню заплави і на яких при високих рівнях, вода виходить з головного русла на заплаву, прийнято вважати заплавами. Бажано для екстраполяції кривих витрат для таких створів мати визначені витрати води, які відповідають надзаплавній зоні рівнів води. Також необхідно мати вимірні ухили водної поверхні. Руслова зона рівнів повинна бути надійно висвітлена визначеними витратами і мати надійну криву витрат. Загальний зміст екстраполяції кривих витрат у заплавах створах, полягає у розчленуванні поперечного створу на відсіки та екстраполяції кривих для кожного з них окремо. Одним із найбільш розповсюдженим *способом екстраполяції є спосіб із застосуванням формули Шезі.*

Цей спосіб застосовується за наявності надійно вимірних повздовжніх похилів водної поверхні. Суть цього способу полягає в тому, що витрати в верхній 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

$$v_{\text{сер}} = C \sqrt{h_{\text{сер}}} I. \quad (6.4)$$

Величину  $h_{\text{сер}}$  визначають за профілем гідрометричного 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 екстраполюють її до найвищого рівня безпосереднім продовженням. Для побудови кривої  $C = f(H)$  за визначеними витратами води обчислюють значення коефіцієнтів Шезі за формулою

$$C = \frac{V}{\sqrt{h_{\text{сер}}} I}. \quad (6.5)$$

При недостатності визначених витрат води для заплavnих відсіків допускається обчислення значення коефіцієнта Шезі за формулою Н.Н. Павловського (5.13, 5.14).

Криву  $C=f(H)$  екстраполюють безпосереднім продовженням до максимального рівня води (рис. 6.2).

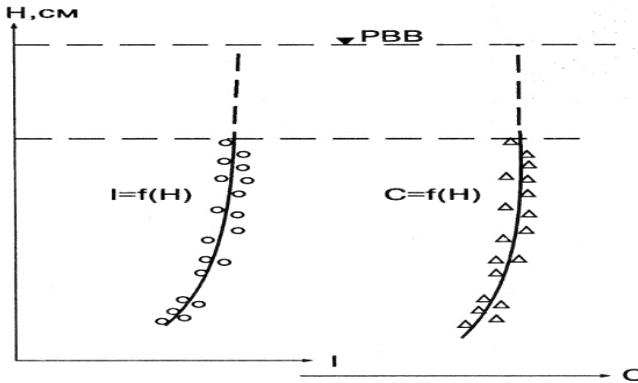


Рис. 6.2. Криві  $I = f(H)$  і  $C = f(H)$



Якщо ж ці криві мають у верхній частині перегини або значну кривизну, то від екстраполяції за формулою Шезі необхідно відмовитися.

Екстраполяцію кривої витрат за способом Стівенса застосовують для великих рівнинних річок із середньою глибиною не менш як 3,5-4 м і рівнинним коритоподібним руслом. За таких умов витрату води обчислюють за формулою  $Q = \omega C \sqrt{RI}$ , яку можна записати так

$$Q = \omega \sqrt{RC} \sqrt{I}. \quad (6.6)$$

Для глибоких і широких річок вираз  $C \sqrt{I}$  в певних межах можна вважати постійним. Якщо прийняти  $Q = C \sqrt{I} = R$ , а  $R = h_{\text{сеп}}$ , то  $Q = K \omega C \sqrt{h_{\text{сеп}}}$ . Оскільки  $K$  – величина стала, то  $Q = f(\omega \sqrt{h_{\text{сеп}}})$ . Ця залежність графічно зображується лінією, близькою до прямої, яку легко екстраполювати (рис. 6.3).

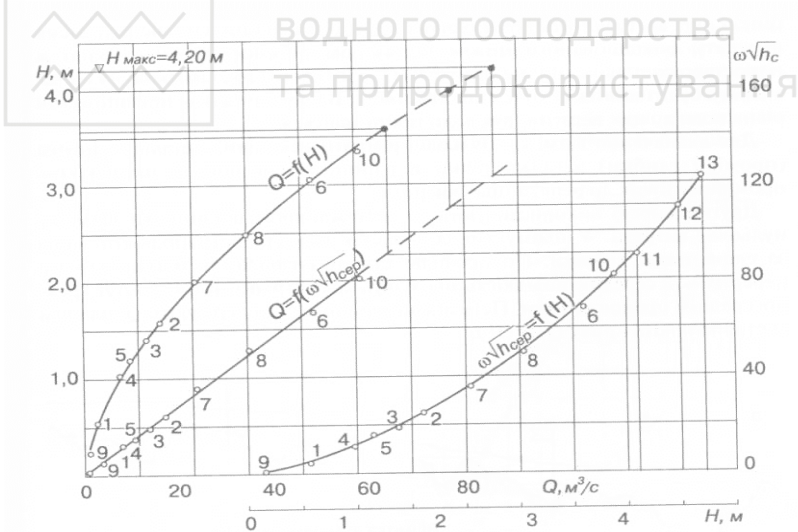


Рис. 6.3. Екстраполяція кривих витрат води за способом Стівенса [2]



## 6.2.2. Екстраполяція кривих витрат води вниз

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 відома відмітка нульової витрати, тобто рівень, при якому витрата води дорівнює нулю. На рис. 6.4 наведені випадки встановлення відмітки нульової витрати.

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

Якщо гідроствор розташований на плесі (рис. 6.4, а), то відміткою нульової витрати буде відмітка гребеня перекаату, розташованого нижче від гідрометричного створу.

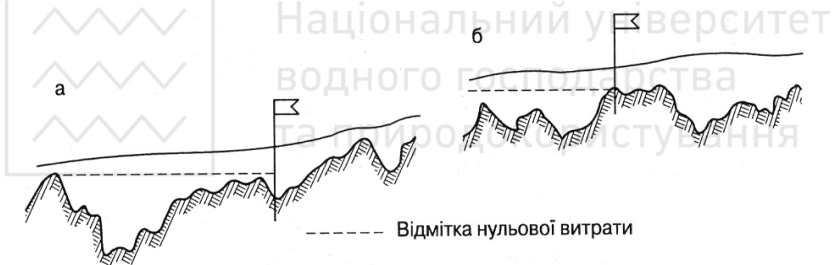


Рис. 6.4. Визначення відмітки нульової витрати:  
а) гідроствор розташований на плесі;  
б) гідроствор розташований на перекаті

Якщо ж гідроствор розташований на перекаті (рис. 6.4, б), то відміткою нульової витрати буде найнижча точка дна на створі. В обох випадках при зниженні рівня води до цих відміток рух води припиняється.

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  $v = f(H)$  безпосереднім продовженням [2; 3]. Витрату води визначають як добуток



середньої швидкості на площу живого перерізу для найнижчого рівня води, який спостерігався.

Вихідні дані для побудови кривих витрат води наведено у додатку Д.

### 6.3. Визначення середньодобових витрат води в період заростання русла

Заростання русла річок водною рослинністю порушує швидкісний режим, який спостерігається для вільного русла. Водна рослинність зменшує площу живого перерізу річки і збільшує гідравлічний опір. Тому отримати надійну залежність  $Q=f(H)$  не вдається. Для обчислення середніх добових витрат за цей період застосовують *спосіб перехідних коефіцієнтів*. Для його використання необхідно мати криву витрат води для вільного від рослинності русла та таблицю витрат води визначених за водною рослинністю у руслі (табл. 6.5).

Таблиця 6.5

Витрати води визначені в період заростання русла [18]

№ витрати	Дата	Рівень, H, см	Визначена витрата, $Q_{зар.}, \text{м}^3/\text{с}$	Витрата з кривої, $Q_{літ}, \text{м}^3/\text{с}$	Перехідний коефіцієнт, $K_{зар.} = Q_{зар.} / Q_{літ}$
30	15.05	108	0,78	0,83	0,94
31	27.05	118	0,98	1,30	0,75
...	...	...	...	...	...
44	03.03	154	3,30	4,25	0,78
45	31.10	123	1,45	1,55	0,94

За даними таблиці наносять на графік  $Q=f(H)$  для вільного русла значення визначених витрат у період заростання русла ( $Q_{зар.}$ ) та відповідних рівнів води. Зазвичай на графіках точки цих витрат розташовуються ліворуч від кривої витрат, побудованої для вільного русла. Це означає зменшення швидкості течії у зв'язку із заростанням шорсткості русла за





рахунок рослинності. Для кожного рівня, при якому визначили витрату ( $Q_{зар}$ ) з кривої  $Q = f(H)$  знімають значення витрат води для вільного русла ( $Q_{літ}$ ), які записують в табл. 6.5. Для усіх витрат визначених у зарослому руслі обчислюють перехідний коефіцієнт ( $K_{зар}$ ) за співвідношенням  $K_{зар} = Q_{зар} / Q_{літ}$ . За обчисленими значеннями ( $K_{зар}$ ) будують хронологічний графік  $K_{зар} = f(T)$ . На тому ж самому кресленні будують хронологічний графік рівнів  $H = f(T)$  (рис. 6.5).

Хронологічний графік  $K_{зар} = f(T)$  показує закономірну зміну розвитку водної рослинності в часі. Навесні водна рослинність починає вегетацію, а восени відмирає, не утворюючи великого гідравлічного опору водотоку. І тому, весною та на початку літа значення  $K_{зар}$  зменшується. В середині літа за слабого росту рослинності коефіцієнти мало змінюються. Восени при відмиранні рослинності коефіцієнти збільшуються до одиниці.

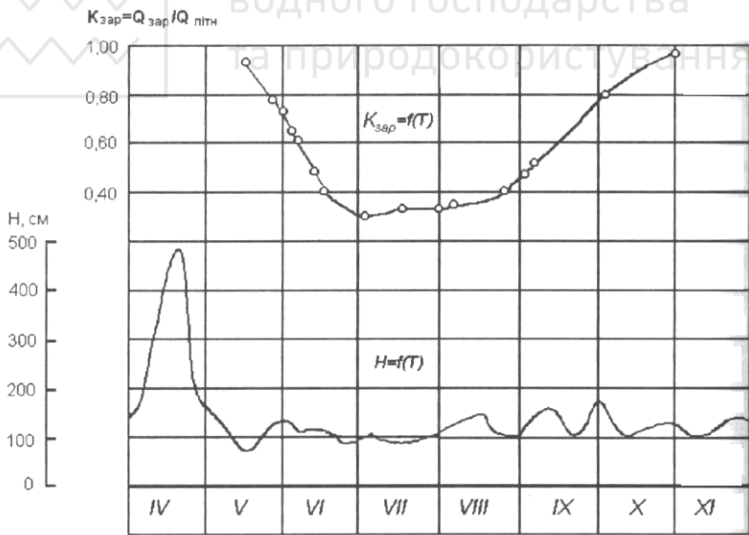


Рис. 6.5. Хронологічний графік коливання рівнів і перехідного коефіцієнта  $K_{зар}$  [18]



Для обчислення середньодобових витрат води в період заростання русла складають таблицю, в яку записують за цей період, середньодобові рівні, відповідні їм зняті з кривої витрат при вільному руслі витрати води ( $Q_{\text{літ}}$ ), а також зняті з хронологічного графіка  $K_{\text{зар}} = f(T)$  значення  $K_{\text{зар}}$  для кожного літнього періоду. Середньодобові витрати води в період заростання русла ( $Q_{\text{зар}}$ ) визначають множенням  $Q_{\text{літ}}$  на  $K_{\text{зар}}$  та записують у відповідну графу таблиці (табл. 6.6).

Таблиця 6.6

Обчислення середньодобових витрат води у період заростання русла

Число	$H$ , см	$Q_{\text{літ}}$ , м <sup>3</sup> /с	$K_{\text{зар}}$	$Q_{\text{зар}} = Q_{\text{літ}} \cdot K_{\text{зар}}$ , м <sup>3</sup> /с
1	158	4,75	1,00	4,75
...	...	...	...	...
30	116	1,06	0,71	0,75
31	141	2,95	0,72	2,12

Таку таблицю складають для всього періоду заростання русла.

Обчислені витрати води у період заростання русла  $Q_{\text{зар}}$  заносять у таблиці щоденних рівнів води при її кінцевому оформленні.



## РОЗДІЛ 7. ВИВЧЕННЯ ТВЕРДОГО СТОКУ

*Твердий стік* – це загальна кількість твердих часток і розчинених у воді речовин, яка переноситься водотоком за певний період часу. *Наноси* – це тверді частки, що транспортуються водою. Наноси включають мінеральні частки різної крупності, а також частки органічного походження. Наноси, які транспортуються водним потоком умовно прийнято поділяти на завислі та донні. *Завислі наноси* переміщуються у товщі потоку. *Донні наноси* переміщуються по дну потоку шляхом сальтації часток. Донні наноси складаються з більш крупних частинок, ніж завислі наноси. Завислі наноси на рівнинних річках становлять приблизно 90-95% всієї кількості наносів, а на гірських річках – 70-80%. На деяких гірських річках стік донних наносів може значно перевищувати стік завислих наносів.

Повний об'єм твердого стоку річки включає вказані категорії наносів і розчинених у воді речовин. При вивченні твердого стоку за результатами гідрометричних вимірювань окремо враховують витрати завислих наносів, витрати донних наносів, витрати розчинених речовин.

За результатами вивчення твердого стоку одержують такі його характеристики: річний стік завислих наносів і розчинених речовин з його розподілом в середині року; склад завислих наносів і донних наносів за розміром частинок та вміст у них органічних речовин; сольовий склад розчинених речовин з розподілом іонів у межах року.

У посібнику, головним чином, розглядається питання пов'язане з вивченням завислих наносів.

### 7.1. Прилади для взяття проб води на каламутність

Для визначення витрат завислих наносів необхідно визначити каламутність води ( $\rho$ , г/м<sup>3</sup>). *Каламутність* – це вміст завислих наносів в одиниці об'єму води. Вона визначається за формулою



$$\rho = \frac{P_i \cdot 10^6}{V}, \quad (7.1)$$

де  $P_i$  – маса наносів у пробі води, г;  $V$  – об'єм проби води, см<sup>3</sup> (мл).

Для визначення каламутності у водотоках проби води беруть приладами, які називаються *батометрами*. За конструкцією вони поділяються на батометри миттєвого і тривалого наповнення. *Батометри миттєвого наповнення* беруть пробу води в кожній точці з деякою повторюваністю, вони не враховують пульсацію каламутності і, тому тепер Гідрометслужбою вже не застосовуються. Зараз використовують *батометри тривалого наповнення*, які беруть не миттєву пробу води, а усереднену за порівняно тривалий період часу і, таким чином, враховують пульсацію мутності.

До батометрів тривалого наповнення належать: батометр-пляшка на штанзі; батометр-пляшка в гідрометричній вазі; вакуумний батометр. В окремих випадках використовують звичайну пляшку на штанзі з грузом. Вакуумний батометр не отримав широкого застосування і фактично не використовується на мережі станцій і постів.

*Батометр-пляшка на штанзі* – ГР-16 (рис. 7.1) та ГР-16М застосовують переважно на рівнинних річках.

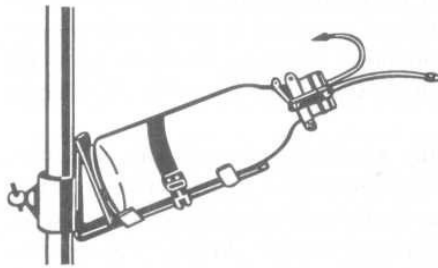


Рис. 7.1. Батометр-пляшка на штанзі

У першому приладі літрову пляшку закріплюють на штанзі за допомогою спеціальної обойми під кутом 25 градусів до горизонтальної лінії. В другому приладі пляшка



встановлюється горизонтально в об'ємі із стабілізатором. Пляшка закривається металевією голівкою-корком, через яку проходять дві трубки. Одна з них спрямована проти течії і призначена для забору води, а друга зігнута за течією і призначена для виходу повітря з пляшки під час її наповнення. На трубки під час роботи надіваються насадки, діаметр яких залежить від швидкості течії (табл. 7.1) [2].

За допомогою батометра-пляшки на штанзі можна брати проби води на каламутність *точковим* чи *інтеграційним* способом. Точковий спосіб найчастіше застосовується при глибинах взяття проб води від 0,5 до 2 м, а інтеграційний – при глибинах не менш як 2 м. Найбільша глибина, при якій застосовують інтеграційний спосіб, залежить від довжини штанги.

Таблиця 7.1

Діаметр насадок  $d$  для регулювання тривалості наповнення батометра-трубки

Швидкість течії, м/с	Діаметр насадки, мм	
	водозабірна трубка	повітровідвідна трубка
<1	6	1,5
1-2	4	2
>2	4	4

Для взяття проби води прилад на штанзі занурюють у воду так, щоб водозабірна трубка була спрямована проти течії. Тривалість витримання батометра пляшки при точковому та інтеграційному способі вимірювання підбирається дослідним шляхом так, щоб об'єм пляшки наповнився на 90-95%. Це свідчить, що взяття проби в точці (точковий спосіб) або з усієї глибини вертикалі (інтеграційний спосіб).

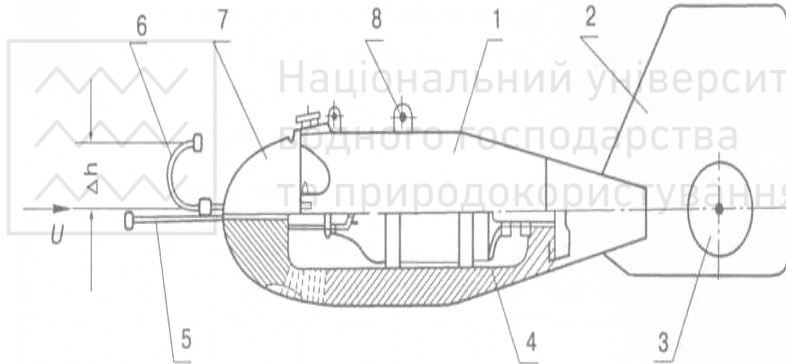
Пробу з батометра переливають в іншу пляшку і надсилають у лабораторію для визначення кількості завислих наносів. Перед переливанням проби з батометра визначають її об'єм. Для цього верхня частина пляшки повинна бути проградуйована [2].



*Батометр-пляшка з гідрометричним грузилом – ГР-15* (рис. 7.2) та ГР-15М має, як і попередній батометр, літрову пляшку, головку-корка і дві трубки.

Пляшку вкладають у середину грузила обтічної форми масою 35-40 кг. Під час роботи батометр прикріплюють до троса і лебідкою опускають на потрібну глибину.

Проби води за допомогою батометра-пляшки у грузилі можна відбирати точковим та інтеграційним способами, але необхідно стежити, щоб вода у пляшку не набиралася до країв. Насадки на трубки підбирають, як і в попередньому батометрі, залежно від швидкості течії.



*Рис. 7.2. Батометр-пляшка з грузилом: 1 – корпус; 2 – хвіст;  
3 – корпус грузила; 4 – піддон; 5 – водозабірна трубка;  
6 – повітровідвідна трубка; 7 – відкидна передня частина;  
8 – кільце*

Використовують також удосконалені батометри-пляшки ГР-15М з грузилом: 15, 50 і 75 кг. Батометри з ваговою масою 15 кг використовують на рівнинних річках із швидкостями до 1 м/с і глибинами до 10 м; батометрами з грузилом масою 50 кг – на річках із швидкістю течії до 2-3 м/с і глибинами понад 10 м, батометрами з грузилом масою 75 кг – на гірських річках із швидкістю течії понад 3 м/с. Грузило масою 50 і 75 кг дає змогу



прикріплювати одночасно і гідрометричну вертушку для вимірювання швидкості течії води [2].

Для взяття проб на каламутність в окремих точках також можна використовувати звичайні літрові пляшки (рис. 7.3). Об'єм пляшки перед роботою визначають мірним стаканом. Їх закріплюють на штанзі або з грузилом під кутом 25 градусів до горизонтальної площини в спеціальній обоймі. В потрібну точку потоку занурюється пляшка, яка закрита корком і, яка в свою чергу, виймається шнурком після встановлення пляшки горлом проти течії. Тривалість витримування визначається по закінченню виходу бульбашок повітря на поверхню води.



Рис. 7.3. Пляшка на штанзі (а) і на гідрометричному грузилі (б)

Для фільтрування проб води, які відбираються для визначення каламутності використовують *фільтрувальний прилад Купріна (ГР-60)* (рис. 7.4).

Прилад може використовуватися в лабораторних та польових умовах. При каламутності більше  $0,5 \text{ кг/м}^3$  необхідно для збільшення швидкості фільтрування створювати тиск у балоні до 2-3 атмосфер. При незначній каламутності і піщано-пилуватому складі наносів тиск обмежується  $0,5\text{-}1,0$  атмосфер. Фільтрувальний прилад доцільно застосовувати при каламутності не більше  $1,0 \text{ кг/м}^3$ .



Рис. 7.4. Фільтрувальний  
прилад Купріна (ГР-60)

Основними технічними характеристиками приладу є: об'єм проби – 1,0 л; максимально допустимий тиск у балоні 3 атмосфери; габарити з футляром 430×260×200 мм; вага з футляром 9,5 кг [5].

Дія приладу заснована на використанні надлишкового тиску повітря, яка створюється у балоні з пробєю води, для прискореного її фільтрування

через паперовий фільтр.

Фільтрувальний прилад являє собою прозорий балон, верхня частина якого закривається кришкою зі штуцером, а нижня – щільним кільцем для з'єднання з конусом. На верхній частині конуса встановлена сітка для паперового фільтру діаметром 11 см. Щільне кільце балона і конус притискаються один до одного за допомогою затискача, герметичність з'єднання забезпечується гумовою прокладкою. Балон встановлюється на штативі і за допомогою затискного гвинта може кріпитися на різній висоті. Через штуцер порожнина балона зв'язана гумовим шлангом з манометром і ручним насосом для створення надлишкового тиску всередині балона.

Перспективним методом визначення каламутності води є *фотометричний метод* [2; 4]. Він ґрунтується на вимірюванні послаблення світлового променя зваженими наносами у воді.

Фотомутномір складається з: джерела світла; фотоелемента; підсилювача; осцилографа.

Суть методу полягає у визначенні прозорості води фотомутноміром, який вимірює струм, що виникає у фотоелементі під впливом променя світла, який проходить через воду, що містить наноси. Принципову схему фотомутноміра сконструйовано у державному гідрологічному інституті (м. Санкт-Петербург) (рис. 7.5).



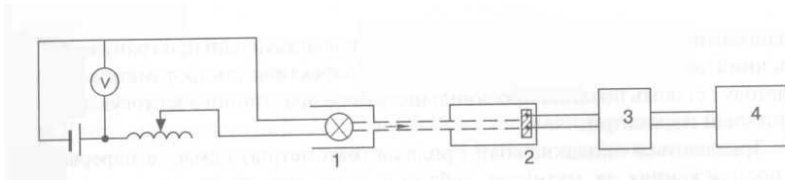


Рис. 7.5. Принципова схема фотомутноміра: 1 – джерело світла; 2 – фотоелемент; 3 – підсилювач; 4 – осцилограф

Для розшифровки записів з фотомутноміра необхідно мати криву розподілу часток за величиною, а для цього необхідно мати дані про гранулометричний склад наносів. Це значно знижує ефективність цього методу та ставить питання про доцільність практичного застосування у польовій гідрометрії.

## 7.2. Визначення витрат завислих наносів

Визначення витрат завислих наносів суміщається з визначенням витрат води і полягає у відборі проби води з подальшим визначенням ваги наносів, обчисленням каламутності в одиниці об'ємі води. Проби води беруть описаними вище приладами на швидкісних вертикалях одночасно з вимірюванням швидкостей течії води.

При визначенні витрати завислих наносів беруть наступні проби води: 1) проби на каламутність на швидкісних вертикалях для обчислення витрат наносів; 2) контрольні одиничні проби води на каламутність для встановлення зв'язку між каламутністю одиничної проби і середньою каламутністю річки; 3) проби для визначення крупності завислих наносів.

Для правильного обліку природного стоку наносів створ, у якому беруть проби води на каламутність, повинен бути на такій ділянці річки, де відсутні спотворення каламутності води, наприклад, випуск стічних вод, днопоглиблювальні роботи в руслі тощо [2].

Для обчислення стоку наносів також беруть щоденні проби води в тому ж самому місці живого перерізу, в якому



беруться контрольні одиничні проби при визначенні витрат завислих наносів.

Кількість визначень витрат завислих наносів протягом року залежить від режиму річки і ступеня вивченості стоку наносів у даному створі. На рівнинних річках у перші два-три роки потрібно визначити не менше 20-25 витрат на рік, а на гірських річках протягом перших трьох-п'яти років – по 30-40 витрат. Основну кількість витрат (10-12) визначають під час повені і паводків. У меженний період визначають одну-дві витрати на місяць. Під час проходження дощових паводків намагаються визначити не менше як по дві витрати завислих наносів, на піднятті та на спаді паводка. На гірських річках із паводковим режимом витрати визначають рівномірно протягом усього паводкового періоду. Якщо створ розміщений на ділянці річки з руслом, яке сильно деформується, то витрати завислих наносів необхідно визначати частіше: чотири-шість разів у місць [2; 4].

Точність визначення витрат завислих наносів при ретельному виконанні робіт описаними нижче методами складає в середньому для рівнинних річок  $\pm 10-15\%$ ; на гірських річках визначення витрати завислих наносів пов'язано з рядом труднощів, внаслідок чого точність визначення витрати наносів знижується.

Проби води на каламутність беруть за допомогою наведених вище приладів на швидкісних вертикалях під час вимірювання швидкості течії. Проби води на каламутність для обчислення витрати завислих наносів беруть наступними способами: точковим; сумарним; інтеграційним.

*Точковий спосіб* взяття проби води на каламутність полягає в тому, що їх беруть в окремих точках швидкісних вертикалей. Тому цей спосіб ще може поділятися на *детальний*, *двоточковий* і *одноточковий*. При детальному способі проби на каламутність беруть окремо в п'яти точках на кожній вертикалі – біля поверхні, на глибині  $0,2h$ ,  $0,6h$ ,  $0,8h$  і біля дна, тобто в тих точках, де вимірюються швидкості течії гідрометричною вертушкою. На вертикалях із незначними глибинами кількість точок зменшують до двох –  $0,2h$ , і  $0,8h$  або до однієї точки –



0,6h. Детальний спосіб застосовують у перші два-три роки на річках з каламутністю понад  $100 \text{ г/м}^3$ . Далі переходять на скорочений спосіб, зменшуючи кількість вертикалей і точок на них. Такий перехід можливий лише при умові, що витрати наносів, визначені скороченим способом, будуть відрізнятися від витрат, визначених детальним способом, не більш як на 10%.

Двоточковий спосіб застосовують на великих і середніх річках при середній мутності від 50 до  $100 \text{ г/м}^3$ , а одноточковий – при такій самій каламутності на малих річках. При заростанні русла і при льодовому покриві проби води на каламутність беруть двоточковим способом (у точках 0,15h, і 0,85h) [2]. Одноточковий спосіб застосовують при вказаній каламутності на малих річках.

*Сумарний спосіб* застосовують на річках при середній каламутності води до  $50 \text{ г/м}^3$ . Проби води беруть у двох точках на кожній вертикалі (0,2h, і 0,8h) і зливають в одну посудину. Така сумарна проба має характеризувати середню каламутність на вертикалі. Якщо середня каламутність менше  $20 \text{ г/м}^3$ , то проби можна зливати в одну посудину для всього живого перерізу. Об'єм такої сумарної проби повинен становити не менше 10 л, а окремі проби, взяті в різних точках, мають бути однаковими за об'ємом (з розбіжністю не більше 10%).

*Інтеграційний спосіб* застосовують під час різких змін рівня води, тобто при несталому русі води, коли спостерігається швидка зміна гідравлічних елементів потоку або при великих глибинах річки. Порівняно з точковим і сумарним цей спосіб менш точний. При заборі проб на каламутність інтеграційним способом батометр тривалого наповнення на кожній вертикалі плавно, з рівномірною швидкістю опускають до дна, а потім з тією ж швидкістю піднімають до поверхні води. Об'єм проби повинен бути трохи менший від місткості приладу (900-950 мм для батометра-пляшки). Це свідчить про те, що зібрана проба усереднена по всій глибині вертикалі.

Якщо середня каламутність води в річці становить менше  $50 \text{ г/м}^3$ , то проби, взяті інтеграційним способом на вертикалях, об'єднують в одну сумарну пробу для всього живого перерізу. Об'єм проби у цьому випадку при каламутності в межах



20-50 г/м<sup>3</sup> повинен дорівнювати не менш як 5 л, а при каламутності до 20 г/м<sup>3</sup> – не менш як 10 л [2].

Об'єм проби при кожному способі визначення встановлюють так, щоб маса осаду наносів на фільтрі при подальшому фільтруванні складала не менше як 0,1 г.

Об'єм проби, взятої будь-яким способом, залежить від середньої каламутності води і визначається за табл. 7.2 [2].

Зазвичай, беруть пробу води об'ємом близько 1 л.

*Контрольні одиничні проби на каламутність* обов'язково беруть під час визначення витрат завислих наносів у тому самому місці, де й щоденні одиничні проби, тими самими приладами і в такому самому об'ємі. Каламутність контрольної одиничної проби дає змогу встановити співвідношення між каламутністю одиничної проби і середньою каламутністю для всього живого перерізу.

Таблиця 7.2

Залежність об'єму проб від каламутності води

Каламутність води, г/м <sup>3</sup>	Об'єм проби, л
>100	Не менше 1
50-100	2
20-50	5
<20	10

Для визначення крупності завислих наносів проби беруть тільки в характерні періоди гідрологічного режиму, тобто під час повені, паводків і в межень (усього 4-10 проб на рік). Зазвичай, ці проби беруть при визначенні наносів на всіх швидкісних вертикалях тими ж самими приладами, але зливають проби з усіх точок та вертикалей в окремий посуд. При цьому загальний об'єм цієї проби визначають за формулою

$$V = \frac{P'_n \cdot 10^3}{\rho}, \quad (7.2)$$

де  $P'_n$  – маса наносів у пробі, г;  $\rho$  – каламутність, г/м<sup>3</sup>. Для визначення крупності наносів за методом фракціометра



потрібна маса наносів має бути 0,5-2 г, а при аналізі методом «піпетка-фракціометр» – 2-7 г.

*Щоденні одиничні проби води на каламутність* спостерігач відбирає щодня в тому самому місці гідрометричного створу точці, де каламутність відповідає середній каламутності живого перерізу. Проби на каламутність відбираються у меженний період – один раз на добу (о 8 год), а в період повеней і паводків – два рази (о 8 і 20 год). Щоденні проби води при каламутності в межах 50-20 г/м<sup>3</sup> проби за п'ять днів зливають в одну посудину і аналізують сумарну пробу. Якщо каламутність менше 20 г/м<sup>3</sup>, в одну посудину зливають проби за десять днів і визначають каламутність для цього сумарного об'єму.

Попередню обробку проб виконують на водомірному посту, а зважування фільтрів з наносами – у стаціонарній лабораторії. За масою наносів у пробі та її об'ємом визначають каламутність.

### **7.3. Обчислення витрат завислих наносів**

Методи обробки результатів визначення витрат завислих наносів вибираються в залежності від способу і методу визначення завислих та донних наносів.

Обробку результатів визначення витрати завислих наносів проводять *графічним і аналітичним способами*. Витрати наносів, визначені детальним способом, обчислюють, як правило графічним способом, а витрати, визначені двоточковим, одноточковим, сумарним та інтеграційним способами – аналітичним способом.

#### **7.3.1. Обчислення витрат завислих наносів графічним способом**

*Графічним способом* обчислюють витрату завислих наносів у такій послідовності, використовуючи рис. 7.6, 7.7.

1. За масою наносів у пробі, одержаній у лабораторії, обчислюють каламутність води в г/м<sup>3</sup> для кожної точки, де



бралися проби, за формулою 7.1. Значення каламутності відкладають на епюрах швидкостей і по одержаних точках будують епюри каламутності.

Масштаб беруть такий, щоб ширина епюри каламутності приблизно відповідала ширині епюри швидкості течії. Також слід звертати увагу на точки, які різко відхиляються від загальних тенденцій. При побудові епюри їх не беруть до уваги. Значення каламутності для цих точок беруть з проведеної лінії епюри за іншими надійними точками.

2. Визначають одиничні витрати наносів  $\alpha$  в  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  у точках відбору проб та вимірювання швидкостей течії як добуток величин каламутності води на швидкість течії в точках за формулою

$$\alpha = \rho \cdot v. \quad (7.3)$$

3. На епюрах розподілу швидкостей по глибині будують епюри одиничних витрат наносів  $\alpha$  (для зручності обчислень – будують ліворуч від епюри швидкостей).

4. Визначають елементарні витрати завислих наносів  $r$  в  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , які чисельно дорівнюють площі епюри одиничних витрат. Для цього планіметрують площу епюри одиничних витрат наносів.

5. Для кожної вертикалі розраховують середню одиничну витрату завислих наносів. Середня одинична витрата наносів  $\alpha_{\text{сер}}$   $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  на вертикалі дорівнює частці від ділення площі епюри одиничних витрат наносів на глибину вертикалі ( $h$ )

$$\alpha_{\text{сер}} = \frac{r}{h}. \quad (7.4)$$

6. Обчислені середні одиничні витрати наносів наносять у прийнятому масштабі, в якому відкладено величини  $\alpha$  на епюрах швидкості течії, над профілем поперечного перерізу на відповідних швидкісних вертикалях і по одержаних точках будують епюру розподілу середніх одиничних витрат наносів  $\alpha_{\text{сер}}$  по ширині річки.

7. Будують епюру елементарних витрат ( $r$ ) по ширині річки. Для цього відкладають від лінії рівня води на швидкісних вертикалях раніше обчислені для них значення елементарних витрат завислих наносів ( $r$ ).



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

річка	Москва
пункт	Барсуки

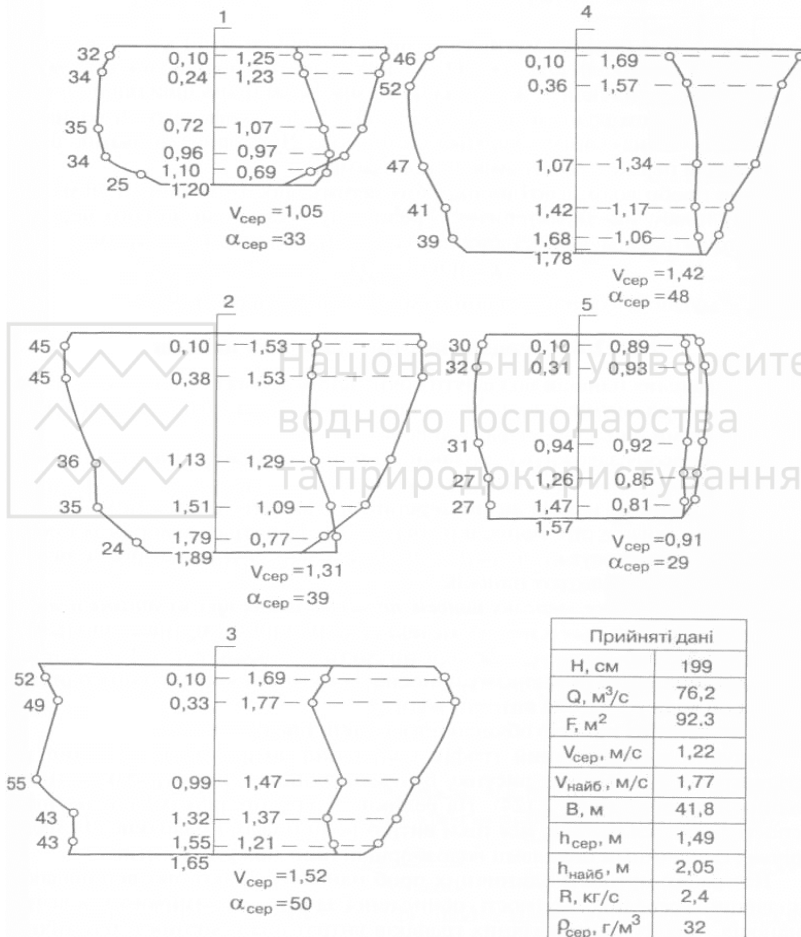


Рис. 7.6. Епюри витрат завислих наносів на швидкісних вертикалях, побудовані графічним способом

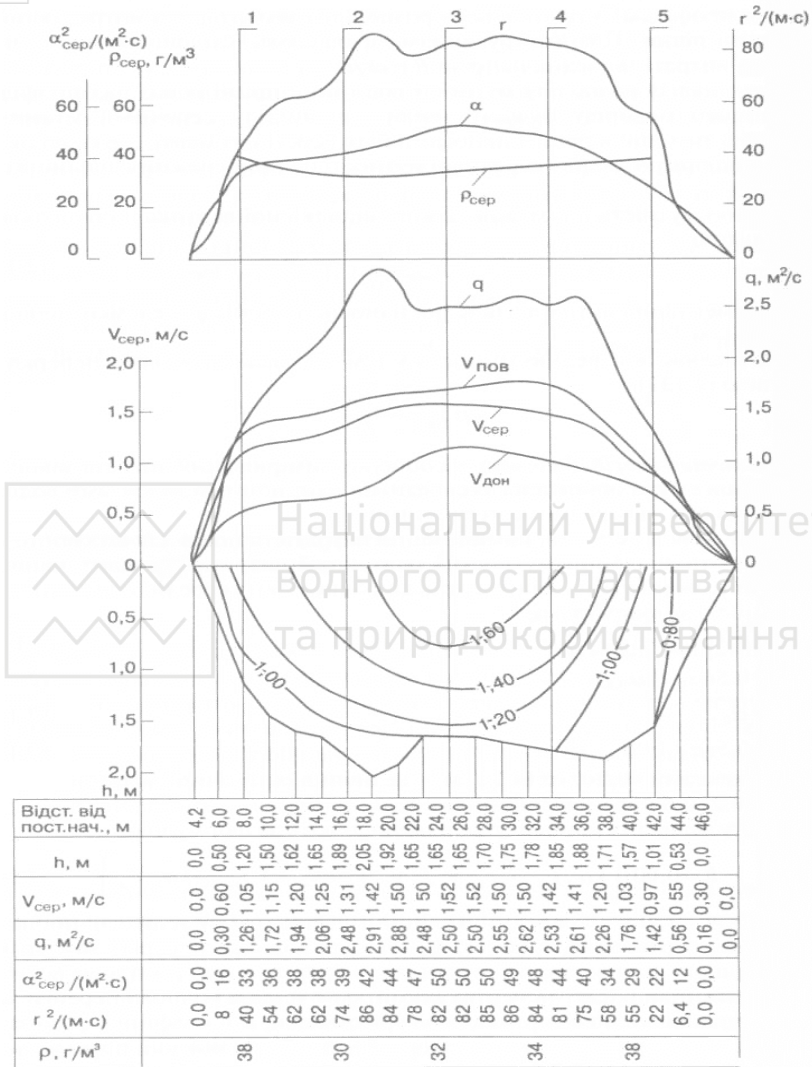


Рис. 7.7. Обчислення витрати завислих наносів графічним способом

Для промірних вертикалей значення елементарних витрат завислих наносів знаходять множенням середньої одиночної





витрати ( $\alpha_{cep}$ ), знятої на даній вертикалі з епюри ( $\alpha_{cep}$ ) на глибину відповідної промірної вертикалі ( $h$ )

$$r = \alpha_{cep} \cdot h. \quad (7.5)$$

Значення  $\alpha_{cep}$  та  $r$  записують у довідковій таблиці під кресленням (рис. 7.7).

8. Визначають витрату завислих наносів ( $R$ ) в кг/с. Вона чисельно дорівнює площі епюри елементарних витрат наносів. Ця площа визначається за допомогою планіметра і палетки з урахуванням масштабів побудови.

Для аналізу розподілу каламутності води по ширині річки над профілем поперечного перерізу будують епюру розподілу середньої каламутності ( $\rho_{cep}$ ) за даними швидкісних вертикалей. Середню каламутність в  $\text{г/м}^3$  для кожної швидкісної вертикалі обчислюють за формулою

$$\rho_{cep} = \frac{r}{q}, \quad (7.6)$$

де  $r$  – елементарна витрата завислих наносів,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $q$  – елементарна витрата води,  $\text{м}^2/\text{с}$ . Елементарні витрати визначаються за епюрою витрат по ширині річки, які будують для графічного визначення витрат води (рис. 5.1, п. 5.4).

Біля берегів річки не буває смуги води без наносів, тому епюру розподілу середньої каламутності на прибережних ділянках не будують (рис. 7.7).

Після визначення витрат завислих наносів обчислюють середню каламутність ( $\rho_{cep}$ ) у  $\text{г/м}^3$  для всього живого перерізу за формулою

$$\rho_{cep} = \frac{R \cdot 10^3}{Q}, \quad (7.7)$$

де  $R$  – витрата завислих наносів, кг/с;  $Q$  – витрата води,  $\text{м}^3/\text{с}$ .



### 7.3.2. Обчислення витрат завислих наносів аналітичним способом

*Аналітичний спосіб* передбачає обчислення витрати завислих наносів за середніми одиничними витратами завислих наносів на вертикалях або за середніми каламутностями на швидкісних вертикалях, або за каламутністю сумарної проби.

При точковому способі визначення витрати наносів для кожної точки розраховують значення каламутності і одиничної витрати завислих наносів. Потім для кожної швидкісної вертикалі обчислюють середні одиничні витрати наносів за формулами:

$$\alpha_{\text{сеп}} = 0,1 \cdot (\alpha_{\text{нов}} + 3\alpha_{0,2} + 3\alpha_{0,6} + 2\alpha_{0,8} + \alpha_{\text{дно}}); \quad (7.8)$$

$$\alpha_{\text{сеп}} = 0,5 \cdot (\alpha_{0,2} + \alpha_{0,8}); \quad (7.9)$$

$$\alpha_{\text{сеп}} = \alpha_{0,6}; \quad (7.10)$$

$$\alpha_{\text{сеп}} = 0,5 \cdot (\alpha_{0,15} + \alpha_{0,85}), \quad (7.11)$$

де  $\alpha$  з індексами «0,2», «0,6» і т. д. – величина одиничної витрати наносів у точках 0,2; 0,6 робочої глибини тощо.

Витрату завислих наносів ( $R$ ) у кг/с обчислюють за формулою

$$R = 0,001 \cdot \left( k\alpha_1 f_0 + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} f_1 + \dots + \frac{\alpha_{n-1} + \alpha_n}{2} f_{n-1} + k\alpha_n f_n \right), \quad (7.12)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  – середні одиничні витрати завислих наносів на швидкісних вертикалях, г/(м<sup>2</sup>·с);  $f_0$  – площа водного перерізу між урізом води і першою швидкісною вертикаллю, м<sup>2</sup>;  $f_1, f_2, \dots, f_{n-1}$  – площі водного перерізу між швидкісними вертикалями;  $f_n$  – площа водного перерізу між останньою швидкісною вертикаллю і урізом води;  $k$  – коефіцієнт, що залежить від характеру розподілу швидкостей у прибережній зоні потоку, який приймають згідно (при пологому березі з нульовою глибиною на урізі  $k=0,7$ ; при обривистому березі або нерівній стінці  $k=0,8$ ; при гладкій стінці  $k=0,9$  і за наявності мертвого простору  $k=0,5$ ).

При визначенні витрати завислих наносів інтеграційним або сумарним способом каламутності проб води, які бралися на



окремих вертикалях, відповідають середнім каламутностям, величину яких визначають за формулою (7.6). Витрата завислих наносів у цьому випадку обчислюється за формулою

$$R = 0,001 \cdot \left( \rho_1 Q_0 + \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} Q_1 + \dots + \frac{\rho_{n-1} + \rho_n}{2} Q_{n-1} + \rho_n Q_n \right), \quad (7.13)$$

де  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$  – середня каламутність води на першій, другій і т. д. та останній швидкісній вертикалі,  $\text{г/м}^3$ ;  $Q_0$  і  $Q_n$  – часткові витрати води між урізом води і першою швидкісною вертикаллю та між останньою швидкісною вертикаллю і урізом води,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_{n-1}$  – часткові витрати води між суміжними швидкісними вертикалями,  $\text{м}^3/\text{с}$ . Числовий множник 0,001 введено для переходу від грамів до кілограмів.

Якщо проби води, взяті на окремих вертикалях, були об'єднані в одну сумарну пробу, що характеризує середню каламутність води живого перерізу річки, то витрату завислих наносів у  $\text{кг/с}$  обчислюють за формулою

$$R = 0,001 \cdot \rho_{\text{сеп}} \cdot Q, \text{ кг/с}, \quad (7.14)$$

де  $\rho_{\text{сеп}}$  – каламутність сумарної проби,  $\text{г/м}^3$ ;  $Q$  – витрата води,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

У більшості випадках при обчисленні витрати завислих наносів використовують аналітичний спосіб, крім витрат наносів, визначених детальним способом, які обчислюють, як правило графічним способом.

**Задача.** Обчислити витрату завислих наносів аналітичним способом для р. Дунай с. Кислиця, при одноточковому і двоточковому способі взяття проб води на каламутність.

*Необхідно:* обчислити каламутність води в точках взяття проб; для кожної швидкісної вертикалі розрахувати середню витрату завислих наносів; обчислити витрату завислих наносів.

**Розв'язок.** Всі розрахунки зводимо у табл. 7.3.

1. Перші три графи табл. 7.3 – це вихідні дані. 4 графа – середня швидкість на вертикалі в точках, беремо дані з промірних робіт (з побудованого поперечного перерізу річки).

2. 5 графа – розраховуємо одиничні витрати наносів за формулою (7.3). Так, для першої швидкісної вертикалі на



поверхні отримаємо:  $\alpha = 40 \cdot 0,37 = 14,80 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ . Для інших швидкісних вертикалей та точок на них розрахунок аналогічний.

3. 6 графа – розраховуємо середні одиничні витрати наносів за формулою (7.8). Так, для першої швидкісної вертикалі отримаємо:

$$\alpha_{\text{сеп}} = 0,1 \cdot (14,8 + 3 \cdot 16,74 + 3 \cdot 3,96 + 2 \cdot 14,28 + 6,51) = 11,20 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Для інших швидкісних вертикалей та точок на них розрахунок аналогічний.

4. 7 графа – для першої та п'ятої швидкісної вертикалі, знаходимо множенням  $\alpha_{\text{сеп}}$  (6 гр.) на коефіцієнт 0,7, а для 2-4 швидкісних вертикалей – як середнє  $\alpha_{\text{сеп}}$  (6 гр.) між швидкісними вертикалями. Так, для першої та п'ятої швидкісної вертикалі отримаємо, відповідно:  $\alpha_{\text{сеп}} = 11,20 \cdot 0,7 = 7,84 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  і  $\alpha_{\text{сеп}} = 19,31 \cdot 0,7 = 13,52 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

5. 8 графа – площі між швидкісними вертикалями, беремо дані з поперечного перерізу річки.

6. 9 графа – загальну витрату наносів на швидкісній вертикалі отримуємо, множенням 7 гр. на 8 гр. Так, для першої швидкісної вертикалі отримаємо:  $R_1 = 7,84 \cdot 14,13 = 110,78 \text{ кг}/\text{с}$ .

Для інших швидкісних вертикалей розрахунок аналогічний.

7. Загальна витрата наносів по перерізу річки Дунай с. Кислиця становить 2377,65 кг/с, найбільша – між 4 і 5 швидкісними вертикалями при площі поперечного перерізу річки  $f = 166,73 \text{ м}^2$ , ширині річки  $B = 62,2 \text{ м}$ .

Вихідні дані для розрахунку витрат завислих наносів представлено у додатку Е.



Таблиця 7.3

Обчислення витрат завислих наносів аналітичним способом для р. Дунай с. Кислиця

1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ швидкісної вертикалі	Точки на вертикалі	Катамутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Середня швидкість на вертикалі, $v, \text{м/с}$	$\alpha$	$\alpha_{\text{ср}}$	$\alpha_{\text{ср}}$ вертикалі	Площа між швидкісними вертикалями, $f, \text{м}^2$	Витрата завислих наносів, $R, \text{кг/с}$
1	пов.	40,0	0,37	114,80	11,20	7,84	14,13	110,78
	0,2 h	46,5	0,36	16,74		12,66	34,24	433,48
	0,6 h	11,0	0,36	3,96				
	0,8 h	42,0	0,34	14,28				
	дно	21,0	0,31	6,51				
2	пов.	60,0	0,48	28,80	14,12	13,07	35,04	457,97
	0,2 h	22,0	0,48	10,56				
	0,6 h	32,0	0,47	15,04				
	0,8 h	35,0	0,44	15,40				
	дно	12,0	0,40	4,80				
3	пов.	11,0	0,66	7,26	12,02	15,57	36,48	567,99
	0,2 h	16,0	0,63	10,08				
	0,6 h	34,0	0,60	20,40				
	0,8 h	13,0	0,54	7,02				
	дно	15,0	0,50	7,50				
4	пов.	15,5	0,55	8,53	19,11	19,21	31,32	601,66
	0,2 h	28,0	0,55	15,40				
	0,6 h	46,0	0,51	23,46				



продовження табл. 7.3

5	0,8 h	38,0	0,47	17,86	19,31	13,52	15,22	205,77
	дно	72,0	0,42	30,24				
	пов.	44,0	0,37	16,28				
	0,2 h	80,0	0,36	28,80				
	0,6 h	60,0	0,36	21,60				
	0,8 h	25,5	0,34	8,67				
	дно	25,0	0,33	8,25				
	Сума							



## 7.4. Обчислення стоку завислих наносів

Обчислення стоку завислих наносів проводять двома способами. Перший спосіб ґрунтується на використанні даних про каламутність щоденних одиничних проб води і зв'язку між каламутністю одиничних проб ( $\rho_{од}$ ) і середньою каламутністю в річці, тобто  $\rho_{сер} = f(\rho_{од})$ . Другий спосіб ґрунтується на використанні залежності витрат наносів від витрат води, тобто  $R = f(Q)$ .

Основним вважається перший спосіб, який дає змогу визначити стік наносів відносно невеликою кількістю визначених витрат завислих наносів (10-15 витрат на рік). Застосування другого способу обмежене тим, що для побудови надійної залежності  $R = f(Q)$  необхідна велика кількість визначених витрат наносів (20-40 на рік), що буває тільки в перші роки заснування поста.

При обчисленні стоку *першим (основним) способом* використовують такі дані: каламутність щоденних одиничних проб води ( $\rho_{од}$ ), каламутність контрольних одиничних проб води ( $\rho_{од.кон}$ ) витрату води.

Визначення величини стоку ведеться в такій послідовності:

1. Будують хронологічний графік каламутності одиничних проб за даними каламутності щоденних проб води разом з хронологічним графіком (гідрографом) витрат води (рис. 7.8).

Проводять спільний їх аналіз. На графік каламутності нанносять точки значень середньої каламутності річки (за даними визначених витрат наносів), які спільно аналізують, відкидаючи неякісні дані.

2. Будують графік зв'язку середньої каламутності річки ( $\rho_{сер}$ ) і каламутності контрольних одиничних проб (рис. 7.9, а). Зазвичай, така залежність має прямолінійний характер і лінія зв'язку, що проходить через початок координат, а рівняння прямої має вигляд  $\rho_{сер} = K (\rho_{од})$ .

За побудованим графіком можна за значеннями каламутності щоденних одиничних проб води визначити значення середньої каламутності річки.

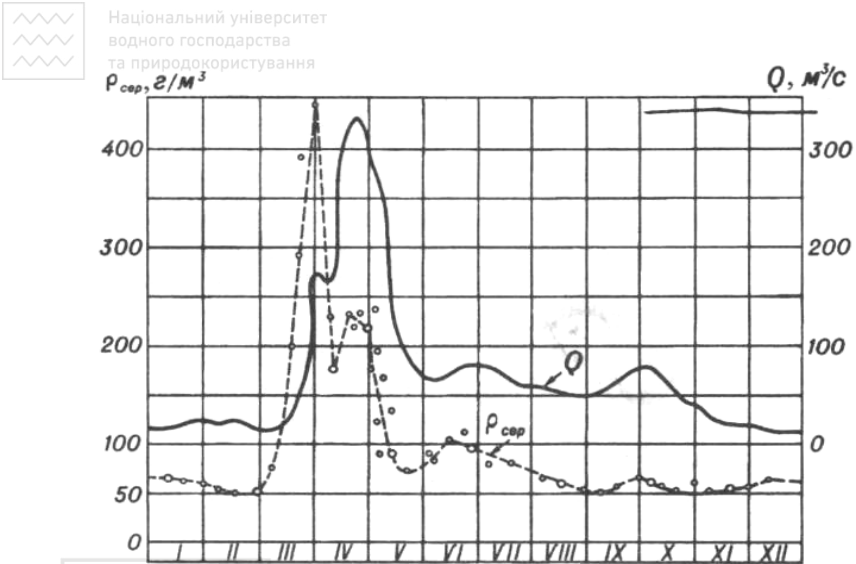


Рис. 7.8. Хронологічний графік каламутності одиничних проб і витрат води

а) б)

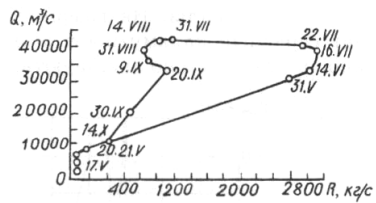
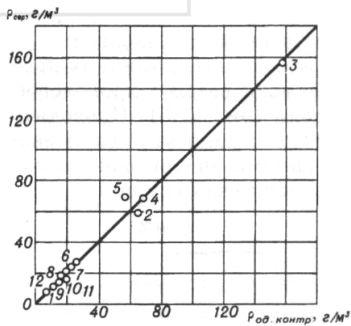


Рис. 7.9. Графік зв'язку середньої каламутності річки і каламутності контрольних одиничних проб (а); залежність між витратами завислих наносів і витратами води (б) [18]





Саме для цього відбирають одиничні контрольні проби води в тих самих точках і тими самими приладами, що щоденні одиничні проби. Так можна визначити середню каламутність річки за будь-який день в період між датами визначень витрат наносів. Для наступних обчислень визначають значення кутового коефіцієнта  $K$  із співвідношення координат для будь-якої точки на прямій  $K = \rho_{сер} / (\rho_{од})$ .

3. Визначають середню добову витрату завислих наносів за формулою

$$R_{сер.доб} = Q \cdot \rho_{сер} = Q \cdot K \cdot \rho_{од}, \quad (7.15)$$

де  $Q$  – середньодобова витрата води,  $\text{м}^3/\text{с}$ , яка знята з хронологічного графіку (гідрографа) витрат води.

4. Визначають середні декадні витрати завислих наносів за формулою

$$R_{сер.дек} = \left( 0,1 \sum_{i=1}^{10} R_{сер.доб} \right) \cdot 0,001. \quad (7.16)$$

5. Визначають стік завислих наносів, для чого спочатку підраховують значення стоку наносів за декадами, а потім підсумовуванням визначають величину річного стоку. Стік наносів за декаду визначають множенням середніх декадних витрат наносів на тривалість декади в секундах. Такі обчислення виконують для кожної декади року, а потім ці величини підсумовують, отримуючи річний стік завислих наносів у тоннах. Аналогічно визначають стік наносів за місяць, сезон, фазу тощо.

Визначення стоку завислих наносів *другим способом*, тобто за графіком зв'язку витрат води з витратами завислих наносів, пропонується використовувати для великих і середніх річок з весняною повінню і стійкою меженню. Цей спосіб не може пропонуватися для обліку стоку наносів у нижніх б'єфах зарегульованих річок.

Для визначення величини стоку наносів за цим способом будують графік залежності між визначеними витратами води і визначеними одночасно з ними витратами завислих наносів (рис. 7.9, б). Така залежність криволінійна і має вигляд петлі, характеризуючи стік наносів відповідно до фаз стоку води.



Для визначення стоку наносів з побудованого графіка знімають середньодобові витрати завислих наносів за значенням середньодобових витрат води, чітко дотримуючись хронології. Потім середньодобові витрати наносів підсумовують по декадах і обчислюють середні декадні витрати наносів.

Річний стік наносів визначають підсумовуванням обчислених значень стоку наносів за всі декади року. При підрахунках стоку наносів за ряд років необхідно для кожного року мати графік зв'язку  $\rho_{сер} = f(\rho_{од})$  або  $R = f(Q)$ .





## РОЗДІЛ 8. АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА ГІДРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

### 8.1. Автоматизована обробка гідрологічних даних у 80-х роках ХХ ст.

Автоматизована обробка гідрологічних даних у 80-х роках ХХ ст. розглянута у багатьох літературних джерелах. Найкраще вона представлена у книзі [10].

Автоматизована інформаційна система державного обліку вод і водного кадастру складається із трьох взаємопов'язаних автоматизованих інформаційних систем (АІС) (підсистем): «Поверхневі води», «Підземні води», «Використання вод».

Гідрологічні спостереження на річках входять у підсистему «Поверхневі води». В цій підсистемі спостереження здійснюються за допомогою гідрологічних постів і станцій Держгідромету та пунктами спостережень інших відомств.

В *територіальних гідрометеорологічних центрах* (ТГМЦ) здійснюється первинна обробка, контроль, накопичення за рік поточних гідрологічних спостережень, підготовка таблиць, які щорічно друкуються у матеріалах Державного водного кадастру (ДВК), обслуговування споживачів даної інформації на своїй території.

*Регіональні гідрометеорологічні центри* (РГМЦ), крім функцій ТГМЦ, здійснюють накопичення і збереження регіональних гідрологічних даних за багаторічні періоди спостережень, періодично публікують режимно-довідкові матеріали (1 раз в 5-10 років) Державного водного кадастру.

*Спеціалізовані центри* створюються при головних науково-дослідних управліннях Держгідромету за специфікою інформації.

Головний центр банку гідрологічних даних АІС ДВК розміщується у Всесоюзному науково-дослідному інституті гідрологічної інформації (ВНДГМІ).

АІС ДВК із збору, первинної обробки, контролю і накопичення даних державного обліку вод за кількісними показниками режиму річок, каналів, берегових спостережень на



озерах і водосховищах базується на електронно-обчислювальних машинах (ЕВМ) «Мінськ-32» та інших засобах автоматизації обробки інформації.

*Технологія збору і автоматизованої обробки гідрометричних даних розбивається на декілька етапів:*

- підготовка інформації до вводу в оперативну пам'ять ЕВМ, ввід, розкодування (переклад із телеграфного коду в машинний код), контроль, внесення виправлень, ввід на магнітну стрічку;

- отримання таблиць з результатами обробки за місяць і забезпечення споживачів на запит необхідної поточної інформації;

- ущільнення і об'єднання інформації, сортування і формування даних на магнітній стрічці, яка передає дані на збереження;

- отримання таблиць, які щорічно друкуються у ДВК.

Запис і кодування даних гідрологічних спостережень проводиться у книжці КГ-1М і вкладці КГ-1МС [10]. Ця книжка призначена для запису результатів спостережень за рівнем води, станом водного об'єкту, температурою води і повітря, опадами і льодовими явищами.

Після запису та кодування гідрологічних даних у книжці КГ-1М проводиться занесення даних спостереження на технічний носій (перфострічку за допомогою телеграфного апарату), враховуючи певні вимоги та правила.

У книзі [10] комплексно, повно розглянуто технологію та методи контролю гідрологічних даних спостережень, алгоритми обробки даних із книжки КГ-1М, автоматизоване обчислення щоденних витрат води і отримання щорічних гідрологічних даних, які друкуються у ДВК.

## **8.2. Сучасна автоматизована обробка гідрологічних даних**

Гідрологічні спостереження відіграють важливу роль в освітленні процесів, що відбуваються на водних об'єктах, вони є найважливішим джерелом отримання гідрологічної інформації. І



тому потребують сучасного стану автоматизованої системи збору, обробки, контролю гідрологічних даних на водних об'єктах. Сьогодні в період широких технічних можливостей процес автоматизації гідрологічних спостережень в Україні відновлюється на якісно новому рівні.

Вся гідрометеорологічна інформація за спостереженнями на відповідних станціях та постах надходить до обласних центрів з гідрометеорології (далі – ЦГМ) є державною бюджетною організацією, що знаходиться у сфері управління Державної Служби України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС України), та безпосередньо підпорядковується Українському гідрометеорологічному центру ДСНС України (УкрГМЦ).

Первинна інформація з постів надходить в оперативно-виробничі організації для аналізу, узагальнення та підготовки матеріалів Державного водного кадастру.

Збір та опрацювання гідрологічних даних відбувається поетапно. Головні суб'єкти цих робіт — гідрологічний пост, гідрологічна станція, обласний центр з гідрометеорології, Центральна геофізична обсерваторія.

1. *Гідрологічний пост*: здійснює спостереження, заповнення і первинне опрацювання рукописних книжок; пересилає місячні книжки на гідрологічну станцію (обсерваторію).

2. *Гідрологічна станція*: щомісячно здійснює первинний контроль даних спостережень; виконує первинне опрацювання даних матеріалів; пересилає місячні (річні) масиви у відповідні обчислювальні центри (ОЦ); виправляє матеріали, поставлені під сумнів системою контролю ОЦ; підготовляє матеріали про річки і канали у гідрологічний щорічник по території діяльності станції.

3. *Управління гідрометеослужби* (наприклад, обласне): контролює схему підрахунку середньодобових витрат води, запропоновану гідростанцією; отримує обмінний фонд матеріалів із Держводгоспу, геологічних організацій, а також метеоданих; пише огляди; складає руслові водні баланси; здійснює комплектацію, редагування та об'єднання даних по



території басейнів, що подаються у щорічнику; пересилає щорічник для видання у Світовий центр даних; передає матеріали в Укргідрометео інститут та Центральну геофізичну обсерваторію.

4. *Відділ гідрології і Державного водного кадастру Центральної геофізичної обсерваторії*: здійснює ведення державного водного кадастру (ДВК) на території України розділу «Поверхневі води» [9].

Широкого застосування набувають *автоматичні гідрологічні станції* (пости). Вони дають можливість безперервно здійснювати моніторинг гідрологічних ситуацій, фіксувати амплітуду і хід розвитку повеней та паводків, дають можливість проводити детальну оцінку розвитку повеней та паводків, здійснювати безперервні гідрологічні прогнози, завчасно попереджати про ризики.

Сьогодні в Україні є 54 автоматичних пости з різним поєднанням вимірювальних параметрів (рис. 8.1) [15].

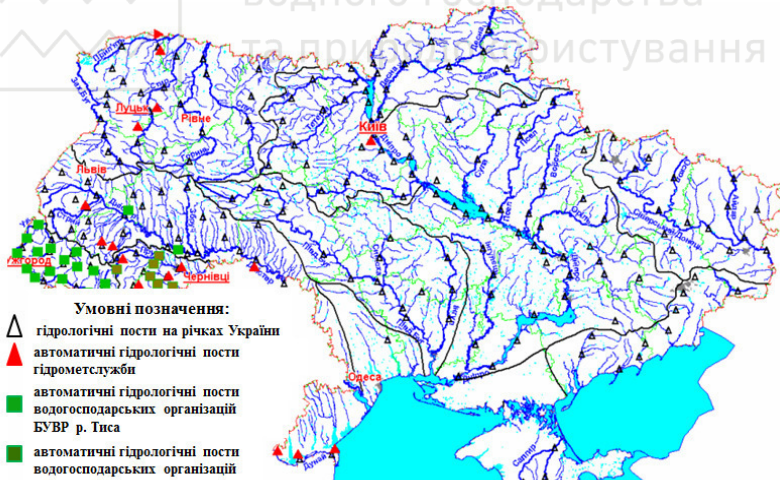


Рис. 8.1. Автоматичні гідрологічні станції (пости) України



На території Українського Полісся їх є п'ять – Любязь-Прип'ять, Любешів-Стохід, Луцьк-Стир, Любанський міст-Прип'ять, а також на р. Дніпро - Київ-Дніпро. Найбільше автоматичних гідрологічних станцій (АГС) на Закарпатті – 30, всі вони належать Басейновому управлінню водних ресурсів р. Тиса (БУВР р. Тиса). Також на річці Дунай є 3 автоматизованих пости та 7 АГС на річках басейнів Дністра, Прута і Сірету.

На станціях (АІВС) використовують принципово новий тип зв'язку для передачі інформації – *супутниковий*. Так, гідрометеорологічна інформація з автоматизованих інформаційно-вимірювальних станцій (АІВС) передається на супутник, а дані з АІВС обробляються на робочих місцях (обласними та центральним відділами автоматизованого прийому, обробки та передачі інформації Українському гідрометеорологічному центру (УГМЦ)) за допомогою програми MS Excel 97.

Візуалізація результатів вимірювань для окремих станцій представлена на рис. 8.2.

Наприклад, автоматизоване представлення даних про рівні води на річках Волинської області від 16 травня 2016 року у гідрологічних бюлетенях представлено на рис. 8.3.

Найбільша мережа існуючих автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем (АІВС), на яких ведеться спостереження за рівнем води річок у період паводкових вод здійснюється системою «ТИСА» [16], «Прикарпаття», комп'ютерною системою з автономними давачами, системою «АКСОН», акустичною системою контролю рівня води річок, інтелектуальною системою прийняття рішень при прогнозуванні повеней та комплексною системою загальнонаціонального протиповеневого моніторингу.

*АІВС «Тиса»* створена з метою збільшення ефективності управління повенями, підвищення рішень і координації заходів на місцевому, регіональному та транскордонних рівнях.



### Дані автоматичних гідрологічних станцій

Станція	Дата і час	Рівень води	Опади	Температура повітря
Ясіня	18.12.2012 18:35	116 / 114	0	-2.2
Раків	18.12.2012 18:40	114 / 114	0	0.4
Терентин	18.12.2012 18:35		0	-3.9
Луци	18.12.2012 18:35	-35 / -37	0	-0.6
В.Бичків	09.10.2012 8:45	44	0	-3.2
Козьмак Поляна	22.05.2009 21:45	0	0	0

### Дані автоматичної гідрологічної станції Ясіня

Широта 48 2727 Пн., Довгота 24 5586 Сх., Висота 646.50 метрів, Фотографія

Дані за останні 3 доби

Дата і час	Рівень М01	Рівень М02	Опади	Температура
18.12.2012 18:00	117	115	0	-1.6
18.12.2012 16:00	117	115	0	-1.6
18.12.2012 14:00	117	115	0	-0.4
18.12.2012 12:00	117	114	0	-0.9

### Дані автоматизованих гідрологічних станцій

Станція	Дата і час	Рівень води	Опади	Температура повітря	Температура води
Луцьк - Стир	18.12.2012 17:45	329.1	0.0	-8.4	0.1
Хрінники - Стир	18.12.2012 17:30	275.0	0.0	-6.7	1.0
Лопатинь - Стир	18.09.2012 12:30	216.3	0.0	20.5	15.3
Любанський міст - Прип'ять	18.07.2012 13:30	189.5	0.7	16.8	10.4
Любешів - Стохід	18.12.2012 17:45	217.4	0.0	-9.5	0.2
Любязь - Прип'ять	18.12.2012 17:45	250.7	0.0	-9.0	0.0

Луцьк, Рівень води, см

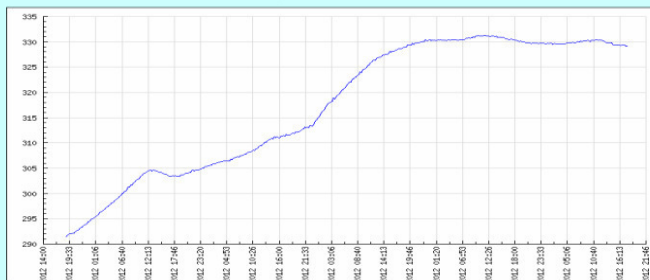


Рис. 8.2. Візуалізація результатів вимірювань АГС





Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

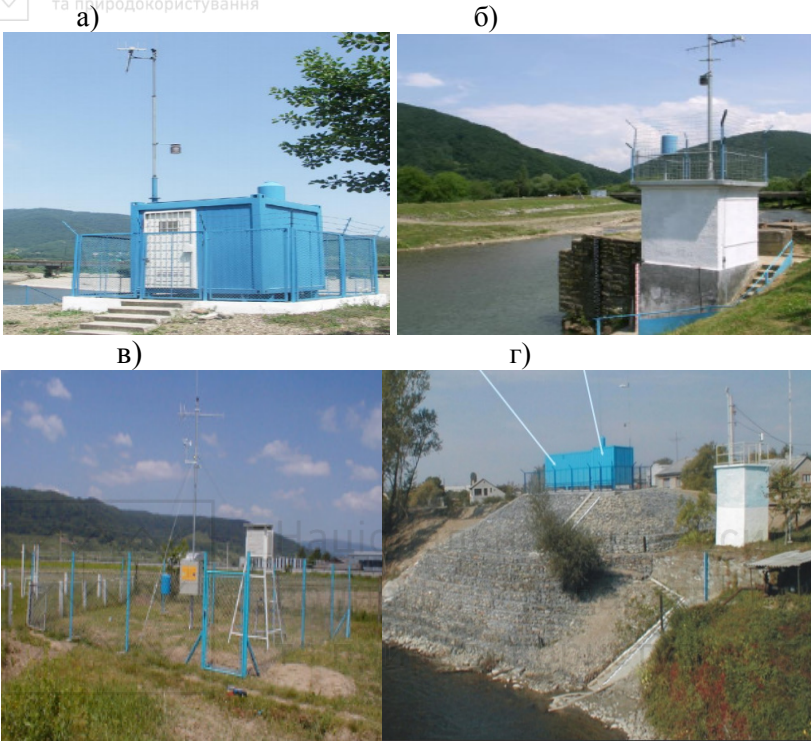


Рис. 8.3. Автоматизоване представлення даних про рівні води на річках Волинської області від 16 травня 2016 року

Вигляд окремих автоматизованих гідрометеорологічних станцій АІВС «Тиса» зображено на рис. 8.4.

Ця система включає в себе:

- 1) автоматизований гідрометеорологічний і метеорологічний збір даних з 30 станцій;
- 2) цифрову систему радіозв'язку для передачі даних, що передаються від автоматизованих станцій;
- 3) станцію контролю в центрі збору і обробки інформації в Ужгороді;
- 4) мікрохвильовий радіорелейний зв'язок між Ужгородом (Україна) і Ниредьгаза (Угорщина) надання двох каналів прямого телефонного з'єднання.



*Рис. 8.4. Окремі автоматизовані гідрометеорологічні станції АІВС «Тиса»: а) у с. Сімер – р. Тур'я; б) у с. Крива – р. Тиса; в) у смт. Великий Березний – р. Латориця; г) у м. Тячів – р. Тиса*

Будову автоматизованої станції АІВС «Тиса» в с. Крива зображено на рис. 8.5.

Це основна інформаційно-вимірювальна інформація АГС в с. Крива від 22.04.2004 р.

На АГС можна дізнатися такі характеристики: дата, час, назва поста; температура повітря та опади, атмосферний тиск; технічні характеристики та їх робота; рівень води, максимальні та мінімальні рівні води на АГС, стадії підняття рівнів води (I, II, III); відсоток рівня води у руслі річки [16].

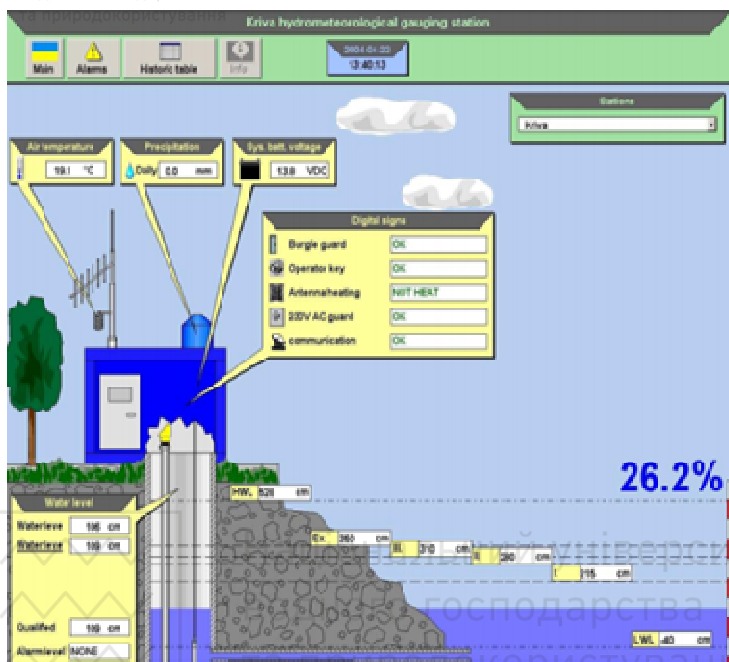


Рис. 8.5. Будова автоматизованої станції АІВС «Тиса» в с. Крива

Всі АІВС «Тиса» можна поділити за різним призначенням, де проводять вимірювання основних гідрометеорологічних та метеорологічних елементів, станції-повторювачі, якості води, автоматизовані наносні станції та автоматизовані шлюзи (рис. 8.6) [16].

Дані від станцій передаються з використанням різних видів зв'язку. Схема передачі даних у системі «Тиса» здійснюється за допомогою повторювачів, супутників, мікрохвиль.

37 станцій використовують прямий радіозв'язок, зосереджений в операційному центрі в Ужгороді, 13 станцій використовують системи EUMETSAT збору даних платформи (DCP) служби, дані передаються з використанням супутникового зв'язку.

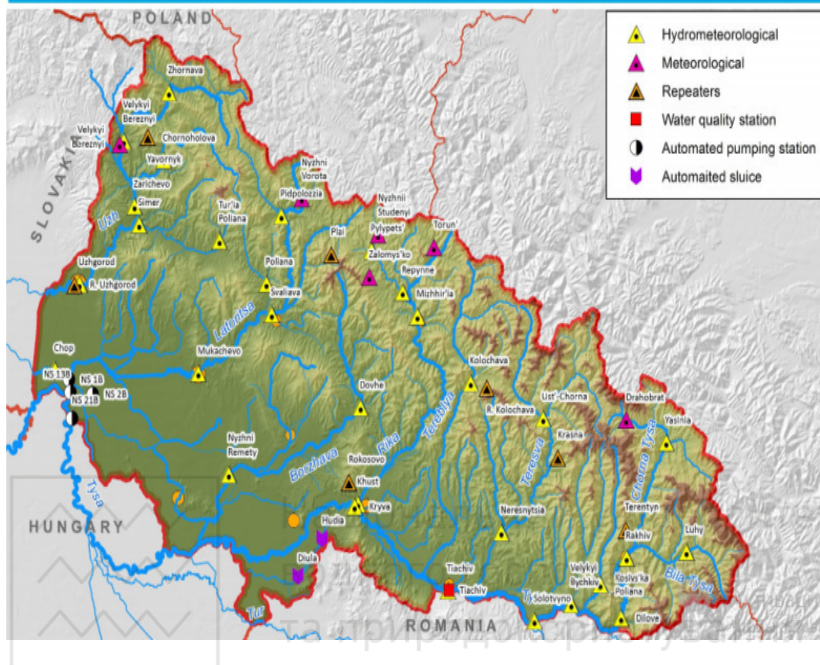


Рис. 8.6. Карта розташування основних АІМС «Тиса»

Система працює із спеціальним програмним забезпеченням:

- програмне забезпечення для обробки гідрологічної інформації, що надходить від автоматизованих станцій з української та угорської території басейну річки Тиса;
- всі дані накопичуються в базі даних TRBWRD;
- програма для роботи з метеорологічного радару дані в Набор, Угорщина;
- програма, що управляє “МЕТЕОСАТ” супутниковими зображеннями;
- НЕС-RASiDIWA програмне забезпечення для моделювання повеней, паводків на основі даних автоматизованих станцій;



- ArcGIS програмне забезпечення для аналізу результатів моделювання повеней і зони затоплення на карті;

- інше програмне забезпечення підтримується.

За допомогою сучасних АІВС можна проводити автоматизований гідрологічний моніторинг (рис. 8.7).



*Рис. 8.7. Система автоматизованого гідрологічного моніторингу з АІВС*

Гідромоніторинг АІВС в пунктах Яремче та Чернівці за 8 діб представлено на рис. 8.8.

На рис. 8.8 показано: зліва назва поста, дата вимірювання, а справа у таблицях – рівень води, опади, зміна рівня води за 12 годин, за 4 години, за 1 годину, температура, максимальний та мінімальний рівень води за добу, заряд батареї, дані на дату вимірювання [16].

Серед автоматизованих систем збору та аналізу гідрологічних даних про стан водних об'єктів виділяють автоматизований комплекс ВРВ«Сателіт» [17], який розроблений, виготовлений українськими підприємства та впроваджений у виробництво. Цей комплекс показав високі





результати та значну практичність в експлуатації. На сьогоднішній день вже встановлено та введено в експлуатацію три такі комплекси в басейні річки Дністер.

В умовах комплексного удосконалення гідрометеорологічної мережі АІВС спостережень і в подальшому будуть розвиватися, так як вони є основним джерелом інформації про стан водних об'єктів України.

### **8.3. Гідрологічна вивченість території постів та водний кадастр**

Гідрологічні спостереження відіграють важливу роль в освітленні процесів, що відбуваються на водних об'єктах, вони є найважливішим джерелом отримання гідрологічної інформації, яка далі піддається автоматизованій обробці. Ступінь гідрологічної вивченості території характеризується результатами режимних спостережень на річках, які проводяться Державною гідрометеорологічною службою України. Гідрологічний режим середніх і малих річок України почали систематично вивчати в другій половині XIX століття. На початку XX століття гідрологічні роботи значно розширились. Більш детально почали вимірювати стік води. Особливу увагу вивченню малих річок стали приділяти з другої половини 40-х років. В цей час були відкриті гідрологічні пости (на яких вимірювались як витрати води, так і витрати наносів). У 90-х роках минулого століття почалося перше скорочення гідрологічних постів на річках [8].

Систематизацію кількісних та якісних даних щодо водних об'єктів, гідрологічних постів, земель водного фонду, водного режиму, водних ресурсів та їхнього використання визначає *водний кадастр*.

*Кадастрові матеріали* випускались із друку як «Матеріали про режим річок СРСР» [9]. Їх видавали окремими випусками за басейнами окремих річок. Ці випуски об'єднували у томи за басейнами морів (наприклад, том 1 — басейн Каспійського моря, том 2 — басейн Чорного та Азовського морів, том 3 — басейн Балтійського моря і так далі, всього сім



томів). Створення першого водного кадастру було завершено перед початком Другої світової війни.

Перший в СРСР *кадастр вод суходолу* складено у 1933-1940 рр. Державним гідрологічним інститутом. Він мав важливе значення для планування розвитку різних галузей господарства, обґрунтування проектів потужних водогосподарських об'єктів і систем (у тім числі ГЕС на Дніпрі), виконання важливих наукових досліджень та узагальнень.

Він вміщував:

1. Районні довідники про водні ресурси.
2. Матеріали про режим річок.
3. Відомості про рівень річок (з 1936 року — Гідрологічні щорічники). Додатково до гідрологічних щорічників публікували матеріали спостережень спеціальних стокових, озерних і болотних станцій, а також матеріали спостережень над випаровуванням із водної поверхні та поверхні ґрунту.

*Другий водний кадастр* (1960-1973 рр.) охоплював усю територію СРСР і був опублікований під назвою «Ресурсы поверхностных вод СССР».

Він налічує серії:

1. *Гідрологічна вивченість* — відомості про проведені стаціонарні спостереження та експедиційні дослідження водних ресурсів. Довідник «Гідрологічна вивченість» налічує 20 томів, частину з яких представлено декількома випусками. В основу поділу довідника на томи і випуски покладено принцип приналежності тієї чи іншої території до важливих річкових басейнів з урахуванням в окремих випадках адміністративних одиниць тодішніх союзних республік.

Довідник «Гідрологічна вивченість» (том 6) присвячено водним об'єктам України і Молдавії та представлено трьома випусками:

- випуск 1 – Західна Україна і Молдавія, басейни річок: Вісли, Дунаю, Дністра і Південного Бугу;
- випуск 2 – Середнє і Нижнє Подніпров'я, басейн Дніпра нижче гирла Прип'яті;
- випуск 3 – Річки Криму і Приазов'я.





2. *Основні гідрологічні характеристики* — відомості про стік річок за весь період спостережень, про рівневий, льодовий і термічний режим річок та озер, а також матеріали з гідрохімії і стоку наносів.

3. *Регіональні монографії: «Ресурси поверхневих вод СРСР»* — відомості з гідрографії і водного режиму окремих природних регіонів і рекомендації з розрахунку основних гідрологічних характеристик. Водні ресурси УРСР та Молдавської РСР розглянуто у шостому томі другого водного кадастру СРСР, який налічує кілька випусків:

- випуск 1. Західна Україна та Молдавія;
- випуск 2. Середнє та Нижнє Подніпров'я;
- випуск 3. Сіверський Донець та річки Приазов'я;
- випуск 4. Крим.

4. *Опис окремих річок, озер та водосховищ*. У цій серії подано фізико-географічну та гідрологічну характеристику великих річкових басейнів, окремих озер і водосховищ.

*Третій водний кадастр* (1977 р.). За ним визначалося три розділи Державного водного кадастру:

1. Поверхневі води.
2. Підземні води.
3. Використання вод.

Кожен розділ поділявся на серії: каталожні відомості; щорічні дані; багаторічні дані.

У них подано каталоги річок, каналів, озер, водосховищ, морів і гирл річок, селевих басейнів, льодовиків; дані про режим та ресурси поверхневих і підземних вод та їхню якість, а також відомості щодо використання вод.

Починаючи з 1981 року публікацію даних Державного водного кадастру здійснювали за єдиними територіальним поділом, заснованим на *адміністративно-басейновому принципі*.

Важливою складовою *першого розділу «Поверхневі води»* є загальна характеристика водного об'єкта (річки, озера, водосховища), а саме: назва; характеристика розміщення водного об'єкта (адміністративна область, район; фізико-географічна область, район); визначення категорії водного



об'єкта (основна ріка, притока); довжина (км); характеристика площі водозбору (км<sup>2</sup>), площі водного дзеркала і об'єму води, густоти річкової мережі (км/км<sup>2</sup>), параметрів і властивостей рельєфу; відображення гідрологічних умов (режим та об'єм стоку різної забезпеченості); визначення модулів стоку (max, min).

Розділ перший «Державного водного кадастру» («Поверхневі води») сформовано з трьох серій:

*Серія 1. Каталожні дані. Каталог річок, каналів, озер і водосховищ.* Він містить основні відомості про річки, канали, озера і водосховища; гідрографічні та морфометричні характеристики цих водних об'єктів і їхніх водозборів, а також відомості щодо пунктів спостережень за гідрологічним і гідрохімічним режимами водних об'єктів за період спостережень. На першому етапі каталогом ДВК слугував довідник «Ресурси поверхневих вод СРСР» (частина 1 — «Гідрологічна вивченість»), виданий в 1963-1967 рр. (45 випусків по всій території країни).

Доповнення з питань вивченості водних об'єктів щорічно публікували в «Довіднику Державного гідрометеорологічного фонду СРСР» (частина 3 «Гідрологія суші»), що видавався з 1965 року.

Серія 1 також включає такі каталоги: селевих басейнів і вогнищ; морів і морських територіальних гирл річок; льодовиків.

*Серія 2. Щорічні дані. Щорічні дані про режим і ресурси поверхневих вод суші.* Щорічні дані про режим і ресурси поверхневих вод публікує Державний гідрометеорологічний комітет, починаючи з матеріалів за 1978 р. Щорічник містить дані державного обліку вод і їхнього використання за минулий рік (дані про льодові явища, характерні рівні і витрати води друкують за гідрологічний рік). Це перевірені та опрацьовані результати стандартних гідрологічних спостережень на державних і відомчих постах основної гідрологічної мережі (на річках, каналах, озерах і водосховищах), узагальнені дані обліку вод, розраховані характеристики водних ресурсів і водних балансів.



Видання сформовано з двох частин. У першій частині «Річки і канали» містяться відомості про рівні води, стік води, забори води з водних об'єктів і скиди в них, руслові водні баланси, каламутність води, стік наносів, їхній гранулометричний склад і щільність, температуру води, товщину льоду і висоту снігу та льоду, льодові явища, ресурси поверхневих вод.

В процесі ведення ДВК необхідно розрізнити дві категорії каналів:

- канали, що з'єднують водні системи або слугують для територіального (міжбасейнового і внутрібасейнового) перерозподілу стоку, розглядаються як водні об'єкти і об'єкти водокористування (штучні річки). Дані спостережень на постах, розташованих на таких каналах, публікуються у відповідних таблицях щорічника так само, як і по річковим постах;

- канали, за допомогою яких здійснюють забір води із водних об'єктів для безпосереднього використання або використовуються для скидання в них використаних зворотних вод із зрошуваних полів (стічних вод промпідприємств), розглядаються у розділі поверхневих вод ДВК тільки як забори або скиди води у водні об'єкти. Облік стоку цих каналів і збір інформації здійснюють за програмою обліку використання вод.

Друга частина щорічника «Озера і водосховища» містить відомості про рівні води, просторовий і часовий розподіл температури води, вміст тепла у водній масі, льодові явища, режим вітру і хвилювань, водний баланс водойм, каламутність води і гранулометричний склад наносів у відкритих частинах деяких водосховищ.

Залежно від обсягу матеріалів і терміну їхньої підготовки до друку частини 1 і 2 щорічника публікувались в одній книзі або окремо двома книгами.

Серія 2 також включає щорічні дані про селеві потоки; якість поверхневих вод суші; режим та якість води морів і морських гирл річок.

*Серія 3. Багаторічні дані. Багаторічні дані про режим і ресурси поверхневих вод.* Видання містить щорічні узагальнені за п'ять попередніх років і весь період спостережень



характеристики гідрологічного режиму річок, каналів, озер і водосховищ, які публікують у «Щорічних даних про режим і ресурси поверхневих вод суші», а також гідрографічні параметри водозборів річок для пунктів спостережень за стоком води та морфометричні характеристики озер і водосховищ.

Видання сформовано з двох частин (частина 1 — річки і канали, і частина 2 — озера і водосховища) і є продовженням опублікованих раніше Головним управлінням гідрометеорологічної служби довідників «Основні гідрологічні характеристики».

Матеріали третьої серії «Багаторічні дані» на територію України видані у другому томі видань ДВК. Це видання налічує три випуски, кожен з яких присвячено окремим басейнам — басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу; басейн Дніпра; басейни Сіверського Дінця, річок Криму і Приазов'я. Випуски поділено на дві частини.

У першій частині «Річки і канали» розміщено серію таблиць, які містять інформацію про: список постів на річках і каналах; характерні рівні води; середні і характерні витрати води; стік весняної повені; дощовий паводковий стік; витрати води, визначені за позначками рівня високих вод; мінімальні витрати води; витрати і стік завислих наносів; гранулометричний склад завислих і донних наносів; температуру води; льодові явища; товщину льоду; розрахункові характеристики стоку води і наносів.

Друга частина — «Озера і водосховища». Основну інформацію цієї частини відображено у таблицях: основні відомості про озера і лимани; список постів на озерах і лиманах; пункти спостережень за випаровуванням з водної поверхні; середні місячні рівні води; характерні рівні води; температура води; льодові явища; товщина льоду; випаровування з водної поверхні.

Тут містяться узагальнені відомості щодо гідрологічних характеристик за окремими постами, за весь період спостережень, а за окремими характеристиками — щорічні дані за весь період спостережень. При складанні «Багаторічних даних про режим і ресурси поверхневих вод суші» використано



дані, опубліковані в Гідрологічних щорічниках, щорічних даних про режим і ресурси поверхневих вод суші.

Деякі характеристики гідрологічного режиму публікуються *окремими випусками* (наприклад, рівні води).

У виданні «*Характерні рівні води (щорічні дані)*» подаються щорічні рівні на всіх постах відповідної території, а також відомості про характерні рівні води в сантиметрах над нулем поста за існуючий період спостережень.

Вихідними матеріалами для складання таблиць слугували дані про рівні води, розміщені в гідрологічних щорічниках, а також матеріали спостережень, що зберігаються в гідрометеофонді Укргідромету.

Серія 3 також включає багаторічні дані про якість поверхневих вод суші; про режим і якість вод морів і морських гирл.

*Окремі видання.* Видання Водного кадастру під загальною назвою: «*Ресурси поверхневих вод СРСР*» складається з 20-ти томів науково-прикладного довідника (*34 випуски*).

Кожен том (випуск) містить *чотири частини*: гідрологічна вивченість; основні гідрологічні характеристики; водні ресурси; опис окремих річок, озер і водосховищ.

У таблицях містяться дані, які висвітлюють стан гідрологічної вивченості певного району. Також подаються схеми розташування гідрологічних постів (станцій) і схеми розташування озер, водосховищ, ставків. Списки річок подано у послідовності, відображеній на гідрографічній схемі. Повздовжні профілі річок і графіки наростання площ басейнів побудовано за великомасштабними картами. Побудовано графіки основних характеристик русла: графік висоти берегів; графік глибин річки; графік швидкостей течії; план річки.

З метою полегшення знаходження опису будь-якої річки у випуску міститься алфавітний покажчик річок.

ДВК містить також інші окремі кадастрові видання, наприклад, *кадастр лавин*.

Кадастр ділиться на томи і випуски відповідно до прийнятої структури довідника «Ресурси поверхневих вод



СРСР». Територія України охоплює шостий том, до якого належать чотири випуски:

- випуск 1. Західна Україна. Частина 1. Басейни річок Тиси, Прута (Дунай), Дністра;
- випуск 4. Крим. Частина 1. Басейни річок Криму.





## Список використаних джерел

1. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. М. : Издательство стандартов, 1988. – 34 с.
2. Яцик А. В. Водогосподарська екологія: у 4-х томах. 7 кн. / А. В. Яцик. – К.: Генеза, 2003. – Т. 1, кн. 1-2. – 400 с.
3. Будз О. П. Гідрологія. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни. Рівне : НУВГП, 2008. – 170 с.
4. Быков В. Д., Васильев А. В. Гидрометрия. Издание третье переработанное и дополненное. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1972. – 448 с.
5. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам / А. Б. Рейфер, М. И. Алексеенко, П. Н. Бурцев, А. И. Застенкер, Ю. А. Белогуров, С. И. Непомнящий. Ленинград : Гидрометеиздат, 1971. – 371 с.
6. Железняков Г. В. Гидрометрия. Издание второе. – Москва : Колос, 1972. – 256 с.
7. Быков В. Д., Васильев А. В. Гидрометрия. Издание третье переработанное и дополненное. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1965. – 500 с.
8. Меліорація та облаштування Українського Полісся: [колективна монографія] / за ред. Я. М. Гадзала, В. А. Сташука, А. М. Рокочинського. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. – Т. 1. – 932 с.
9. Курганевич Л. П. Водний кадастр: Навч. посібник. — Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. — 116 с.
10. Лучшева А. А. Практическая гидрометрия. Издание второе переработанное и дополненное. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. – 424 с.
11. <http://uzinform.com.ua/news/2013/08/13/29575.html#ixzz4A8ilvEBj>.
12. Измеритель скорости течения ИСТ–I–0,06/120/70. ЗТ2.781.001 ПС. Паспорт. Министерство приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР. 1989. – 33 с.



13. Уровнемер поплавокый самопишущий унифицированный ГР-116. Паспорт. Ogress tip. P. 4808 1000 – 89. – 21 с.
14. Железняков Г. В. Теоретические основы гидрометрии – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 292 с.
15. Презентація Укргідрометцентру. Автоматизовані гідрометеорологічні станції на річках України 2013 р. // Нарада-семінар з оперативної гідрології, 7-11 жовтня, 2013.
16. Automated information-measuring system for floodforecasting and water resources management in the Tysa river basin// Programme is co-financed by the European Union. Uzhhorod. 2014. – 10 p.
17. Серебрянский Д. В., Кравчинский Р. Л. Автоматизация систем сбора та аналізу даних за станом водних об'єктів України: сучасний стан і перспективи // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. збірник / Відп. редактор – В. К. Хільчевський. – К. : ВГЛ «Обрії», 2012. – Том. 1 (26). – С. 28-33.
18. Литовченко О. Ф. Практикум з інженерної гідрології та регулювання стоку. – Дніпропетровськ : РВВ ДДАУ, 2007. – 252 с.
19. ДБН В.2.4-Х: 201Х. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик. К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2012.
20. ДСТУ 3517-97. Гідрологія посухи. Терміни та визначення основних понять. К. : Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості, 58 с.





Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Національний університет  
водного господарства  
**ДОДАТКИ**  
та природокористування



Додаток А

Вихідні дані середньодобових рівнів води для побудови кривих повторюваності та тривалості  
стояння рівнів води (см) на річках

ВАРІАНТ 1. р. Прип'ять – с. Річиця

Дата	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	285	270	288	318	291	281	353	327	324	323	288	287
2	291	265	288	319	291	283	353	324	323	321	289	284
3	293	261	288	319	288	287	355	322	322	319	289	285
4	294	258	287	318	285	290	355	322	321	318	290	287
5	294	256	286	317	283	293	355	323	321	316	290	289
6	295	254	284	317	282	295	355	326	320	315	288	290
7	295	253	283	316	280	297	355	330	321	315	286	290
8	295	253	282	316	278	299	353	333	321	315	284	288
9	295	257	283	316	273	300	352	334	322	314	283	288
10	294	261	285	315	268	303	352	334	322	313	283	288
11	294	266	285	315	266	311	351	332	322	312	282	287
12	294	270	285	314	265	317	349	329	322	311	280	287
13	293	273	286	312	263	323	347	326	322	311	278	290
14	292	277	287	310	262	329	345	324	322	310	279	292
15	291	280	288	308	261	333	343	321	322	308	282	295
16	286	283	289	306	260	336	342	320	322	306	284	297



*продовження додатка А*

17	283	286	294	305	259	339	340	318	322	304	287	298
18	284	287	295	304	258	340	339	315	323	302	288	299
19	286	288	295	303	255	341	337	312	323	301	289	299
20	286	288	295	303	251	343	336	310	324	300	290	299
21	285	289	296	302	249	344	334	308	325	299	290	298
22	285	290	296	301	247	348	333	307	326	297	288	299
23	283	290	297	299	246	348	333	307	327	296	286	299
24	281	290	299	298	255	349	333	308	327	295	284	299
25	278	291	301	297	268	351	334	309	327	295	285	299
26	274	291	303	296	279	352	334	311	327	294	287	300
27	271	291	305	295	286	352	334	314	326	294	289	302
28	296	290	308	295	288	352	333	318	326	293	289	304
29	272	289	312	294	289	353	333	321	325	293	288	306
30	273		315	292	286	353	332	323	324	291	289	308
31	273		317		282		330	324		289		311



ВАРІАНТ 2. р. Прип'ять – с. Любязь

Дата	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	221	242	231	285	296	280	321	330	314	284	255	249
2	225	240	231	289	295	281	321	329	312	282	256	250
3	229	238	231	292	294	283	323	330	311	281	256	249
4	231	236	231	298	294	284	324	332	311	280	256	246
5	233	234	231	306	293	285	324	332	309	278	256	245
6	234	233	231	312	293	286	324	332	308	278	255	244
7	234	232	232	317	293	286	326	332	307	276	254	244
8	236	232	232	321	292	286	326	332	306	275	252	244
9	236	232	233	324	292	285	326	332	305	275	252	242
10	236	232	234	324	291	285	326	332	303	274	252	242
11	237	232	235	324	291	285	327	332	301	273	251	242
12	237	232	236	322	290	286	328	332	300	272	250	242
13	236	232	237	320	290	287	330	332	299	272	249	242
14	236	232	238	320	289	287	330	331	298	271	252	242
15	236	232	238	319	288	288	330	330	298	270	253	242
16	236	232	239	317	287	289	330	329	296	268	253	242



продовження додатка А

17	236	232	241	316	286	293	331	328	296	267	253	242
18	236	232	245	315	285	297	332	326	296	266	253	242
19	236	232	248	313	284	301	332	325	295	265	254	242
20	236	232	251	311	283	303	333	324	294	264	255	242
21	236	231	254	310	284	305	334	322	294	263	255	242
22	236	231	256	308	285	309	334	322	293	262	254	242
23	238	231	258	306	285	312	334	322	293	261	252	243
24	241	231	261	303	285	314	334	322	292	260	250	246
25	244	231	264	301	284	317	334	322	291	260	249	250
26	243	231	267	300	283	319	334	320	290	259	248	254
27	241	231	271	300	282	320	334	319	289	258	248	257
28	240	231	275	298	281	321	332	318	288	257	247	260
29	238	231	277	298	280	321	331	317	286	257	246	262
30	240		280	297	279	321	330	316	285	256	246	265
31	242		283		279		330	315		256		266



ВАРІАНТ 3. р. Турія – с. Ягідне

Дата	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	253	188	204	270	202	198	287	235	232	218	189	199
2	252	186	202	275	200	202	280	234	229	216	190	200
3	242	187	202	276	199	204	274	234	228	214	191	200
4	235	188	204	275	198	208	268	237	227	211	189	199
5	229	192	202	264	197	214	263	236	226	208	187	198
6	226	189	201	255	197	219	258	235	225	205	195	196
7	224	186	203	246	197	220	317	234	226	203	186	197
8	223	187	206	241	196	219	332	233	229	203	185	198
9	223	198	208	237	195	227	327	231	228	202	186	198
10	223	207	210	235	195	223	321	230	227	201	187	198
11	222	217	211	227	194	222	313	228	226	200	186	199
12	219	226	211	226	194	222	298	227	225	199	185	202
13	217	232	211	225	193	226	287	226	226	197	185	212
14	214	234	211	225	192	225	279	224	228	196	188	223
15	206	233	216	226	191	226	268	222	236	195	195	229
16	211	232	213	225	191	227	262	220	246	194	199	230



*продовження додатка А*

17	208	229	224	228	190	230	256	222	259	193	204	221
18	202	222	246	226	189	236	255	222	261	192	208	217
19	201	217	271	219	188	241	255	222	266	191	209	212
20	200	217	274	218	189	246	256	222	266	191	208	208
21	199	217	259	216	193	252	258	226	263	190	207	203
22	203	219	243	215	196	257	258	232	257	190	204	210
23	201	211	241	216	198	257	258	234	250	190	207	219
24	205	207	255	217	206	254	258	240	248	189	200	232
25	199	204	286	215	204	253	258	246	245	189	194	246
26	196	203	305	213	203	261	256	242	237	189	194	270
27	194	203	303	210	202	268	253	238	231	186	194	278
28	191	203	299	206	202	281	251	235	224	185	192	276
29	189	202	289	205	200	293	248	234	221	186	195	278
30	186		291	203	199	293	241	234	219	189	199	272
31	188		284		198		235	234		191		271



продовження додатка А

ВАРІАНТ 4. р. Турія – м. Ковель

Дата	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>1</b>	229	191	210	263	215	204	260	234	221	230	201	208
<b>2</b>	230	188	210	260	213	206	257	231	220	228	201	202
<b>3</b>	230	187	209	259	212	209	256	231	218	225	200	200
<b>4</b>	227	187	209	259	212	212	255	233	219	224	201	199
<b>5</b>	226	188	209	254	211	212	254	231	218	222	200	200
<b>6</b>	225	189	209	250	212	214	254	231	217	220	199	201
<b>7</b>	225	192	210	248	211	212	267	230	216	219	198	201
<b>8</b>	226	197	212	245	210	213	303	228	218	219	198	201
<b>9</b>	225	205	213	242	209	214	307	227	218	218	198	203
<b>10</b>	224	209	214	240	210	215	305	225	217	217	197	203
<b>11</b>	222	213	214	232	207	218	305	223	217	217	196	203
<b>12</b>	220	214	214	231	207	220	300	221	216	216	196	204
<b>13</b>	218	216	213	229	206	223	293	219	216	215	195	210
<b>14</b>	217	218	213	231	206	225	286	217	217	214	197	213
<b>15</b>	215	219	213	232	204	225	280	215	220	214	203	213
<b>16</b>	214	219	214	232	204	228	271	213	228	214	207	213





*продовження додатка А*

17	213	217	224	229	203	233	268	214	240	213	206	212
18	212	218	235	227	202	236	264	214	240	213	205	210
19	211	219	234	225	200	244	263	216	245	212	205	210
20	209	217	230	225	201	248	270	218	244	212	205	211
21	206	216	231	225	200	247	272	219	244	210	206	209
22	204	216	233	224	201	249	273	222	244	210	205	210
23	201	215	237	225	205	253	272	220	242	210	205	210
24	200	213	248	224	207	255	269	221	240	208	205	211
25	196	212	257	224	209	256	261	225	240	207	205	217
26	196	211	265	224	210	257	250	224	238	206	207	232
27	194	211	267	223	209	257	251	226	237	206	210	239
28	195	210	274	220	208	256	247	227	235	204	210	254
29	196	210	275	219	207	259	243	228	233	203	210	256
30	197		275	217	205	263	239	225	232	202	210	258
31	196		271		203		237	224		202		258



ВАРІАНТ 5. р. Стохід – с. Малинівка

Дата	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	187	128	167	216	147	155	262	235	234	203	142	148
2	179	128	167	214	145	158	262	233	229	197	143	151
3	174	131	166	219	144	166	264	232	226	193	144	153
4	170	138	166	208	141	186	267	237	224	190	144	150
5	169	143	162	201	137	191	267	240	224	190	145	149
6	168	144	165	195	143	194	264	240	224	188	146	151
7	163	144	170	191	144	204	264	236	225	184	146	154
8	164	150	174	187	143	197	270	234	225	183	144	155
9	166	160	177	184	143	187	277	231	223	181	140	154
10	163	168	173	181	154	183	273	227	220	179	138	154
11	161	173	175	176	153	187	267	224	218	177	138	155
12	159	177	174	171	139	187	261	220	217	175	138	157
13	157	180	175	165	139	189	255	217	217	173	138	172
14	151	190	174	164	139	195	250	215	219	170	142	176
15	147	186	169	170	137	199	244	214	220	167	147	180
16	159	182	171	170	131	209	239	213	221	164	154	174



*продовження додатка А*

17	151	175	194	168	142	221	237	217	235	162	158	167
18	149	174	239	168	145	231	237	227	242	160	156	161
19	146	178	229	167	144	241	241	238	247	157	154	159
20	142	180	207	163	138	248	244	239	248	155	152	158
21	145	177	196	161	136	247	248	234	241	153	151	157
22	158	173	188	158	140	247	260	234	233	152	151	157
23	166	171	188	154	141	249	267	232	229	151	150	162
24	184	169	207	152	159	251	272	234	226	149	152	167
25	193	169	241	150	159	249	267	234	221	148	151	189
26	182	168	246	149	145	252	262	235	218	147	152	231
27	161	167	244	150	148	259	256	240	215	145	153	233
28	147	168	239	159	156	258	250	248	213	146	152	247
29	138	167	234	164	156	256	246	251	211	147	152	240
30	140		233	156	154	259	241	244	210	146	156	222
31	134		226		152		238	240		143		218



продовження додатка А

ВАРІАНТ 6. р. Стир – с. Щурівці

Дата	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	146	136	108	167	112	111	234	195	140	137	111	113
2	148	133	108	163	111	113	229	186	138	136	109	126
3	141	128	106	161	110	122	221	181	136	132	110	128
4	132	125	104	162	110	140	217	179	138	131	109	125
5	125	120	103	160	111	151	213	175	137	129	106	114
6	120	119	104	156	112	154	205	176	141	126	102	106
7	118	120	104	150	113	157	203	173	150	125	103	108
8	117	117	105	145	113	160	199	170	157	124	104	111
9	117	116	105	142	111	166	194	166	158	127	103	111
10	116	118	105	140	111	170	188	163	159	125	102	109
11	114	122	108	137	112	181	184	158	160	124	100	110
12	112	123	108	132	112	187	181	157	160	121	103	116
13	111	125	110	129	111	183	177	154	156	120	103	127
14	110	126	110	131	109	176	174	155	149	119	104	131
15	105	126	107	135	107	171	171	154	149	118	108	128
16	102	122	108	135	106	167	168	151	159	116	114	117
17	104	118	119	135	106	171	170	150	168	115	113	114
18	105	117	134	132	105	176	174	161	170	114	112	119
19	104	116	141	127	105	183	175	162	171	114	113	114



*продовження додатка А*

<b>20</b>	104	115	141	125	105	188	188	163	176	114	113	114
<b>21</b>	102	110	135	123	105	194	210	157	175	113	109	113
<b>22</b>	99	111	131	121	109	199	224	153	171	112	109	110
<b>23</b>	98	109	131	119	109	201	232	148	163	113	104	112
<b>24</b>	98	109	141	120	109	199	238	150	156	113	112	119
<b>25</b>	99	108	160	119	111	201	241	153	151	114	106	137
<b>26</b>	98	107	181	118	117	204	240	152	147	112	107	141
<b>27</b>	112	108	188	116	121	207	235	152	144	111	109	150
<b>28</b>	141	109	182	115	122	219	228	153	143	110	112	158
<b>29</b>	145	109	174	113	118	229	220	149	141	109	113	160
<b>30</b>	146		169	112	114	236	212	145	138	112	115	162
<b>31</b>	143		170		113		204	144		111		163



ВАРІАНТ 7. р. Стир – м. Луцьк

Дата	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	284	331	302	415	275	294	358	359	316	330	272	264
2	280	332	295	420	278	282	360	363	314	329	275	250
3	280	332	290	420	277	271	360	364	310	326	274	253
4	280	329	278	420	276	270	359	364	308	330	271	262
5	283	319	269	416	275	266	356	366	302	328	270	302
6	298	311	264	411	269	265	361	366	308	328	263	316
7	308	300	272	404	254	261	368	366	310	328	258	314
8	310	294	273	396	247	259	369	363	309	328	257	307
9	314	294	275	388	244	258	369	363	297	327	256	301
10	318	294	277	383	245	258	369	360	291	323	256	297
11	326	294	278	373	247	278	368	351	288	311	256	295
12	321	294	278	363	252	292	367	352	287	305	255	291
13	317	294	278	353	254	297	366	347	288	302	252	295
14	315	293	278	342	253	300	363	339	289	298	255	292
15	312	289	279	332	250	301	361	331	290	291	260	292
16	310	282	279	320	250	302	361	330	293	288	264	281
17	302	283	288	313	248	305	365	328	295	286	264	265
18	291	286	316	309	247	309	366	328	301	285	264	280
19	288	291	338	308	253	314	363	328	305	288	260	295



продовження додатка А

20	287	292	351	307	262	319	356	323	305	287	260	309
21	283	292	354	306	262	319	353	306	305	281	260	308
22	282	292	361	305	261	321	361	301	304	279	259	307
23	278	293	372	303	260	328	357	301	304	275	257	306
24	256	297	385	301	264	332	350	307	312	274	256	306
25	249	301	399	295	273	339	344	309	323	274	257	313
26	266	303	403	292	275	345	338	309	330	273	260	329
27	283	305	408	290	275	350	336	308	332	272	265	321
28	291	305	411	292	276	352	338	306	331	272	270	329
29	296	305	413	299	281	354	342	308	330	272	264	345
30	300		414	285	294	354	348	318	330	272	267	362
31	310		414		297		355	318		272		373



ВАРІАНТ 8. р. Радоставка – с. Трійця

Дата	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	147	119	120	152	112	155	248	245	216	169	107	148
2	138	118	119	160	111	159	245	243	213	162	106	135
3	132	118	118	168	112	173	243	241	212	160	106	121
4	129	119	120	158	112	194	243	240	213	155	104	117
5	126	124	117	151	112	207	242	241	213	153	114	116
6	124	127	115	145	112	209	240	243	213	149	111	118
7	123	131	116	141	112	210	238	246	216	147	111	120
8	123	149	116	138	110	198	238	246	223	147	104	122
9	123	166	115	137	108	213	239	241	233	147	104	122
10	121	167	115	135	108	221	236	236	233	143	108	121
11	120	167	115	133	108	217	235	234	226	138	110	123
12	119	170	115	130	108	211	233	230	222	134	107	129
13	118	166	117	128	108	208	232	228	217	132	104	128
14	117	142	117	133	107	208	229	229	216	131	105	128
15	118	133	119	138	107	207	225	227	221	127	107	123
16	123	129	120	134	106	205	228	223	235	127	109	156
17	119	130	145	131	107	211	234	229	260	126	108	169
18	113	126	155	128	106	232	234	258	258	125	108	153
19	113	125	149	126	107	236	236	255	246	124	109	146





продовження додатка А

20	112	124	143	124	111	235	246	245	233	122	108	139
21	113	124	141	121	118	239	277	235	229	120	136	130
22	113	162	138	120	122	240	293	231	223	120	135	126
23	112	158	143	119	123	231	297	227	211	116	131	127
24	133	135	174	119	125	228	298	232	204	114	119	141
25	140	119	191	118	128	256	289	238	197	114	115	160
26	139	119	178	117	136	294	280	240	190	113	115	157
27	141	124	167	116	145	299	273	234	185	112	118	142
28	141	123	160	115	143	284	258	230	181	110	117	154
29	134	122	166	114	142	260	252	228	178	109	118	150
30	130		169	113	147	256	248	224	173	110	121	144
31	124		159		154		246	219		109		142



ВАРІАНТ 9. р. Іква – с. Радянське

Дата	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	35	67	24	55	24	26	78	41	37	37	26	28
2	32	47	24	57	25	27	67	42	31	36	26	27
3	31	40	24	54	27	48	58	42	31	35	28	27
4	29	34	24	49	29	82	54	45	34	34	27	27
5	29	30	24	44	31	53	54	46	32	34	27	27
6	28	25	27	44	30	47	46	49	34	34	26	27
7	29	25	27	38	31	38	51	44	36	34	27	27
8	28	28	26	38	28	33	46	43	35	35	28	24
9	27	27	25	38	26	48	46	43	37	33	28	23
10	26	29	26	38	24	44	59	45	40	33	29	24
11	26	37	24	35	23	38	56	43	39	34	30	25
12	26	41	26	35	25	43	62	42	41	32	31	31
13	26	36	30	35	25	33	53	41	40	32	31	37
14	25	31	26	37	24	31	55	43	47	34	31	36
15	24	27	25	38	24	30	49	41	54	34	30	30
16	24	26	26	36	25	30	48	40	68	33	29	28
17	23	25	88	36	23	66	61	41	61	31	31	27
18	24	25	111	34	23	71	61	42	56	30	31	29
19	24	25	76	36	23	69	60	41	38	30	31	30



*продовження додатка А*

<b>20</b>	24	25	46	33	22	46	75	42	41	30	31	32
<b>21</b>	24	24	41	31	21	40	71	41	40	30	30	32
<b>22</b>	24	24	37	35	32	36	86	42	40	29	31	32
<b>23</b>	24	24	48	33	26	36	61	40	39	29	31	31
<b>24</b>	23	25	98	33	54	42	56	42	42	30	30	28
<b>25</b>	23	24	118	34	35	181	51	44	42	30	29	28
<b>26</b>	23	22	109	32	48	100	58	46	40	29	29	28
<b>27</b>	23	24	82	30	33	65	49	43	40	28	29	28
<b>28</b>	22	24	68	32	29	67	42	43	41	30	28	31
<b>29</b>	23	24	61	30	27	89	42	44	39	25	28	33
<b>30</b>	71		55	28	25	47	43	46	39	25	29	34
<b>31</b>	70		52		25		42	43		28		36



ВАРІАНТ 10. р. Горинь – с. Ямпіль

Дата	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	416	344	352	396	337	327	381	331	332	332	326	321
2	416	344	354	393	337	333	371	326	332	331	333	320
3	415	344	354	394	335	359	363	328	332	328	334	320
4	412	344	354	389	334	356	347	328	332	326	334	320
5	412	344	354	377	334	351	344	329	334	326	334	320
6	410	344	354	369	334	347	344	334	336	326	334	321
7	397	342	354	365	333	334	349	334	336	326	334	322
8	382	342	354	359	333	332	341	332	346	329	334	322
9	368	342	354	352	336	332	338	328	354	335	334	322
10	362	340	354	352	328	330	333	328	343	332	329	320
11	360	338	353	350	327	337	339	327	341	329	323	320
12	359	338	352	348	328	345	350	326	341	330	318	320
13	353	338	354	348	328	350	341	326	344	330	318	326
14	350	338	356	348	328	345	340	326	345	330	320	334
15	350	338	356	348	328	350	341	326	344	330	320	334
16	348	338	356	346	328	353	340	326	354	330	320	334
17	347	338	381	346	328	366	341	329	359	330	329	334
18	347	343	458	346	328	369	340	340	350	331	330	332
19	348	346	469	345	329	366	340	335	345	338	326	331



*продовження додатка А*

<b>20</b>	348	351	396	342	336	369	344	333	344	340	326	330
<b>21</b>	348	351	382	342	338	360	347	330	344	339	326	330
<b>22</b>	348	351	376	341	336	354	355	329	341	338	326	330
<b>23</b>	348	351	383	339	333	355	365	328	343	338	326	332
<b>24</b>	346	351	438	338	347	354	372	328	344	339	325	334
<b>25</b>	346	352	506	338	348	373	375	330	344	334	324	337
<b>26</b>	346	352	516	338	338	493	380	331	342	332	324	344
<b>27</b>	346	352	513	338	331	478	377	336	335	332	328	347
<b>28</b>	346	352	493	338	331	428	362	334	334	329	327	376
<b>29</b>	346	352	464	338	329	417	347	329	334	326	325	389
<b>30</b>	346		424	338	328	401	334	333	333	326	322	380
<b>31</b>	344		412		328		334	333		326		378



Вихідні дані для побудови поперечного перерізу річки

Варіанти	Номера промірних вертикалей	Уріз лівого берега	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10*	11	Уріз правого берега
1	$l, m$	4,50	9,00	14,0	19,0	24,0	29,0	34,0	39,0	44,0	49,0	54,0	59,0	62,7
	$h, m$	0,0	1,5	2,55	3,05	3,07	3,15	3,10	2,90	2,55	2,05	2,10	0,25	0,0
2	$l, m$	6,0	11,0	16,0	21,0	26,0	31,0	36,0	41,0	46,0	51,0	56,0	61,0	65,5
	$h, m$	0,0	2,00	2,90	3,30	3,30	3,35	3,40	3,10	2,90	2,70	2,22	1,15	0,25
3	$l, m$	17,5	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	74,8
	$h, m$	0,0	0,92	1,80	2,22	2,18	2,12	2,15	2,15	2,13	1,57	0,85	0,30	0,0
4	$l, m$	11,8	16,0	21,0	26,0	31,0	36,0	41,0	46,0	51,0	56,0	61,0	66,0	70,0
	$h, m$	0,0	2,16	3,05	3,45	3,60	3,66	3,65	3,53	3,20	2,72	2,07	0,75	0,0
5	$l, m$	17,7	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	72,0
	$h, m$	0,0	1,22	2,20	2,84	3,05	3,20	3,10	2,82	2,40	1,90	1,27	0,64	0,0
6	$l, m$	21,2	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	79,0
	$h, m$	0,0	1,55	2,43	2,92	3,27	3,45	3,48	3,35	3,05	2,55	1,85	1,10	0,0
7	$l, m$	29,5	32,0	37,0	42,0	47,0	52,0	57,0	62,0	67,0	72,0	77,0	82,0	85,0
	$h, m$	0,0	1,05	2,07	2,64	2,92	2,98	2,83	2,73	2,60	2,32	1,85	1,15	0,0
8	$l, m$	23,7	27,0	32,0	37,0	42,0	47,0	52,0	57,0	62,0	67,0	72,0	77,0	80,0
	$h, m$	0,0	1,07	1,95	2,67	3,15	3,52	3,74	3,60	3,35	2,90	2,07	1,05	0,0
9	$l, m$	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	74,0
	$h, m$	0,0	1,56	4,20	5,00	5,21	5,25	5,25	5,20	5,23	4,90	4,00	2,50	0,60
10	$l, m$	13,8	16,0	21,0	26,0	31,0	36,0	41,0	46,0	51,0	56,0	61,0	66,0	70,5
	$h, m$	0,0	1,42	4,05	4,87	5,07	5,03	5,03	4,95	4,98	4,82	3,90	2,45	0,20

Примітка \* – промірні вертикалі співпадають із швидкісними ( $l$  – відстані від постійного початку,  $m$ ;  $h$  – виміряні глибини,  $m$ )



Додаток В

Вихідні дані для визначення швидкостей течії води, які виміряні гідрометричною вертушкою

Номера швидкісних вертушок 1/2*	Варіанти		1, 2		3, 4		5, 6		7, 8		9, 10		
	Назви точок	N	t	N	t	N	t	N	t	N	t	N	t
1/2*	Пов.	360	109	360	108	360	105	360	110	360	110	360	105
	0,2h	360	112	360	110	360	108	360	112	360	112	360	106
	0,6h	360	127	360	125	360	126	360	125	360	125	360	117
	0,8h	360	170	360	140	360	138	360	137	360	137	360	135
	Дно	360	158	360	160	360	155	360	157	360	157	360	162
2/4*	Пов.	720	162	720	160	720	258	720	165	720	165	720	162
	0,2h	720	168	720	166	720	160	720	168	720	168	720	166
	0,6h	720	181	720	180	720	178	720	173	720	173	720	179
	0,8h	720	212	720	210	720	214	720	200	720	200	720	213
	Дно	720	249	720	250	720	252	720	245	720	245	720	248
3/6*	Пов.	640	108	640	106	640	105	640	101	640	101	640	109
	0,2h	640	109	640	109	640	109	640	106	640	106	640	109
	0,6h	640	112	640	116	640	115	640	110	640	110	640	116
	0,8h	640	140	640	138	640	142	640	138	640	138	640	143
	Дно	640	156	640	160	640	158	640	154	640	154	640	158
4/8*	Пов.	480	118	480	117	480	112	480	120	480	120	480	112
	0,2h	480	123	480	122	480	120	480	123	480	123	480	122
	0,6h	480	137	480	135	480	132	480	136	480	136	480	140
	0,8h	480	155	480	157	480	159	480	158	480	158	480	189
	Дно	480	269	480	273	480	275	480	278	480	278	480	280
5/10*	Пов.	480	148	480	146	480	145	480	139	480	139	480	146
	0,2h	480	150	480	146	480	151	480	146	480	146	480	150
	0,6h	480	155	480	156	480	159	480	160	480	160	480	159
	0,8h	480	182	480	184	480	187	480	185	480	185	480	180
	Дно	480	242	480	250	480	248	480	243	480	243	480	240



Вихідні дані для побудови кривих витрат води

Варіант	Номера	Рівні води, $H$ , см	Витрата води, $Q$ , м <sup>3</sup> /с	Площа живого перерізу, $\omega$ , м <sup>2</sup>	Середня швидкість, $v$ , м/с
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	1	304	20,4	41,6	0,49
	2	306	18,2	38,0	0,48
	3	295	16,0	34,0	0,47
	4	286	13,8	30,8	0,45
	5	277	12,1	28,1	0,43
	6	268	10,4	25,4	0,41
	7	259	8,63	22,7	0,38
	8	250	7,28	20,8	0,35
	9	240	5,86	18,3	0,32
	10	233	4,98	16,6	0,30
	11	224	3,85	14,8	0,26
	12	215	2,95	13,4	0,22
			$H_{max} = 320$ см $H_{min} = 210$ см		
2	1	200	1,60	10,0	0,16
	2	211	2,52	12,6	0,20
	3	222	3,74	14,4	0,26
	4	233	4,98	16,6	0,30
	5	244	6,30	19,1	0,33
	6	255	7,88	21,9	0,36
	7	266	10,3	24,8	0,41
	8	277	12,1	28,1	0,43
	9	288	14,4	31,4	0,46
	10	299	17,7	35,6	0,48
	11	300	17,8	36,0	0,49
	12	311	19,8	40,4	0,50
			$H_{max} = 320$ см $H_{min} = 192$ см		





<i>I</i>	2	3	4	5	6
3	1	320	22,0	44,0	0,50
	2	311	19,8	40,4	0,49
	3	294	15,8	33,6	0,47
	4	285	13,7	30,5	0,45
	5	276	11,9	27,8	0,43
	6	267	10,3	25,1	0,41
	7	258	8,32	22,5	0,37
	8	249	7,20	20,5	0,35
	9	230	4,64	16,0	0,29
	10	221	3,55	14,2	0,25
	11	212	2,69	12,8	0,20
	12	203	1,80	10,6	0,17
			$H_{max}= 325$ см $H_{min}= 200$ см		
4	1	25	22,3	66,5	0,32
	2	33	28,3	68,9	0,38
	3	41	34,5	78,4	0,44
	4	54	42,0	84,0	0,50
	5	66	48,3	91,3	0,53
	6	74	52,3	96,8	0,54
	7	85	58,2	104,0	0,56
	8	96	64,4	113,0	0,57
	9	105	68,3	122,0	0,55
	10	109	69,3	126,0	0,57
	11	120	75,6	140,0	0,54
	12	131	82,2	158,0	0,52
			$H_{max}= 160$ см $H_{min}= 10$ см		
5	1	137	82,3	147	0,42
	2	114	78,4	134	0,53
	3	103	72,4	120	0,55
	4	98	67,2	111	0,56
	5	92	62,2	102	0,57
	6	82	56,1	98	0,52



1	2	3	4	5	6
5	7	74	52,6	94,7	0,48
	8	60	45,2	87,0	0,44
	9	53	39,6	82,5	0,38
	10	42	34,7	78,8	0,35
	11	33	28,3	74,5	0,33
	12	24	23,3	70,6	0,31
	$H_{max} = 149$ см $H_{min} = 18$ см				
6	1	455	87,8	116	0,75
	2	376	63,2	75,3	0,88
	3	344	52,1	62,4	0,82
	4	305	44,2	56,9	0,78
	5	70	2,76	3,65	0,20
	6	252	33,5	46,2	0,73
	7	174	15,8	25,3	0,59
	8	105	5,93	22,7	0,38
	9	320	49,1	60,0	0,80
	10	176	15,9	25,3	0,56
	11	263	34,3	48,0	0,73
	12	124	8,12	24,9	0,42
$H_{max} = 478$ см $H_{min} = 58$ см					
7	1	150	13,1	32,0	0,41
	2	161	16,1	36,5	0,44
	3	172	19,3	42,0	0,46
	4	183	22,5	47,8	0,47
	5	192	25,5	53,2	0,48
	6	205	29,52	61,5	0,48
	7	210	30,6	65,0	0,47
	8	140	10,6	28,0	0,38
	9	131	8,54	24,4	0,35
	10	120	6,20	20,0	0,31
	11	111	4,50	17,3	0,26
	12	96	2,64	13,2	0,20



продовження додатка Д

1	2	3	4	5	6
	$H_{max}= 220$ см $H_{min}= 90$ см				
8	1	22	22,3	69,8	0,32
	2	33	28,3	74,5	0,38
	3	41	34,5	78,4	0,44
	4	54	42,0	84,0	0,50
	5	66	48,3	91,2	0,53
	6	74	52,3	96,8	0,54
	7	85	58,2	104,0	0,56
	8	96	64,4	113	0,57
	9	105	68,3	122	0,55
	10	109	69,3	126	0,54
	11	120	75,6	140	0,52
	12	131	82,2	158	0,52
	$H_{max}= 166$ см $H_{min}= 10$ см				
9	1	456	64,8	106	0,61
	2	490	99,4	136	0,73
	3	458	86,2	110	0,78
	4	406	71,7	83,2	0,86
	5	388	65,3	75,5	0,86
	6	293	40,4	54,0	0,75
	7	266	34,7	47,8	0,72
	8	214	22,9	36,1	0,63
	9	227	27,1	38,4	0,70
	10	310	44,4	57,2	0,78
	11	291	40,0	52,4	0,76
	12	71	9,96	47,8	0,20
	$H_{max}= 510$ см $H_{min}= 62$ см				



продовження додатка Д

<i>I</i>	2	3	4	5	6
10	1	490	90,0	187	0,48
	2	481	84,2	181	0,47
	3	465	75,7	169	0,45
	4	434	51,7	146	0,35
	5	410	43,8	130	0,34
	6	397	37,6	121	0,31
	7	400	42,4	129	0,33
	8	375	25,0	112	0,22
	9	370	18,8	112	0,17
	10	379	27,4	58,8	0,47
	11	340	11,3	45,8	0,25
	12	320	4,78	36,6	0,13
$H_{max} = 520$ см $H_{min} = 300$ см					



Додаток Е

Вихідні дані для розрахунку витрат завислих наносів

№ швидкісної вертикалі	Точки на вертикалі	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4		Варіант 5		Варіант 6	
		Каламутність, $\rho, \Gamma/\text{M}^3$	3	Каламутність, $\rho, \Gamma/\text{M}^3$	4	Каламутність, $\rho, \Gamma/\text{M}^3$	5	Каламутність, $\rho, \Gamma/\text{M}^3$	6	Каламутність, $\rho, \Gamma/\text{M}^3$	7	Каламутність, $\rho, \Gamma/\text{M}^3$	8
1	2												
	Пов.	35,0	40,0	34,1	40,0	34,1	40,0	35,2	40,0	29,1	30,2		
	0,2h	46,0	46,5	40,7	46,5	40,7	46,5	41,8	46,5	35,7	36,8		
	0,6h	10,0	11,0	41,0	11,0	41,0	11,0	42,1	11,0	36,0	37,1		
2	0,8h	40,0	42,0	43,3	42,0	43,3	42,0	44,4	42,0	38,3	39,4		
	дно	20,0	21,0	39,8	21,0	39,8	21,0	39,9	21,0	34,8	35,9		
	Пов.	50,0	60,0	53,8	60,0	53,8	60,0	54,9	60,0	48,8	49,9		
	0,2h	21,0	22,0	38,8	22,0	38,8	22,0	39,9	22,0	33,8	34,9		
3	0,6h	31,0	32,0	45,8	32,0	45,8	32,0	46,9	32,0	40,8	41,9		
	0,8h	34,0	35,0	53,4	35,0	53,4	35,0	54,5	35,0	48,4	49,5		
	Дно	10,0	12,0	47,7	12,0	47,7	12,0	48,8	12,0	42,7	43,8		
	Пов.	10,0	11,0	40,7	11,0	40,7	11,0	41,8	11,0	35,7	36,8		
3	0,2h	15,0	16,0	48,1	16,0	48,1	16,0	49,2	16,0	43,1	44,2		
	0,6h	33,0	34,0	47,7	34,0	47,7	34,0	48,8	34,0	42,7	43,8		



*продовження додатка Е*

4	0,8h	12,0	13,0	65,1	66,2	60,1	61,2
	Діто	14,0	15,0	53,1	54,2	48,1	49,2
	Пов.	14,5	15,5	28,9	30,0	23,9	25,0
	0,2h	27,0	28,0	45,4	46,5	40,4	41,5
	0,6h	45,0	46,0	52,3	53,4	47,9	49,4
	0,8h	37,0	38,0	46,9	48,0	41,9	43,0
	Діто	13,0	72,0	57,2	58,3	52,2	53,3
	Пов.	34,0	44,0	30,1	31,2	25,1	26,2
	0,2h	70,0	80,0	43,3	44,4	38,3	39,4
	0,6h	50,0	50,0	52,6	47,0	40,9	42,0
5	0,8h	24,5	25,5	55,1	53,7	47,6	48,7
	Діто	32,0	23,0	45,3	56,2	50,1	51,2



*продовження додатка Е*

1	2	3		4		5		6		7		8	
		Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12	Варіант 11	Варіант 12	Варіант 11	Варіант 12	Варіант 11	Варіант 12
№ швидкісної вертикалі	Точки на вертикалі	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$	Каламутність, $\rho, \text{г/м}^3$
1	Пов.	45,3	43,1	24,0	31,2	37,4	37,4	37,4	37,4	44,3	44,3	53,0	61,3
	0,2h	51,9	49,7	30,6	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	44,3	44,3	61,3	61,3
	0,6h	52,2	50,0	31,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	44,3	44,3	61,3	61,3
	0,8h	54,0	52,3	33,3	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	47,2	47,2	63,0	63,0
2	Дно	51,0	48,8	29,9	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	43,1	43,1	60,0	60,0
	Пов.	65,0	62,8	23,7	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	57,6	57,6	74,2	74,2
	0,2h	50,0	47,8	28,8	35,9	35,9	35,9	35,9	35,9	42,1	42,1	59,4	59,4
	0,6h	57,0	54,8	35,7	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8	49,3	49,3	66,5	66,5
	0,8h	64,6	62,4	45,2	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	56,2	56,2	73,7	73,7
	Дно	58,9	56,7	37,6	44,6	44,6	44,6	44,6	44,6	51,1	51,1	78,4	78,4
3	Пов.	51,9	49,7	34,0	37,7	37,7	37,7	37,7	37,7	43,1	43,1	62,0	62,0
	0,2h	59,3	57,1	38,0	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	51,0	51,0	68,4	68,4
	0,6h	58,9	56,7	37,5	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	51,0	51,0	68,4	68,4
	0,8h	76,3	74,1	55,1	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	68,2	68,2	85,2	85,2
	Дно	64,3	62,1	45,3	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	56,3	56,3	73,3	73,3
	Пов.	40,1	37,9	18,8	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	32,3	32,3	49,3	49,3
4	0,2h	56,6	54,4	36,2	42,7	42,7	42,7	42,7	42,7	48,1	48,1	65,1	65,1
	0,6h	63,3	62,3	42,3	49,1	49,1	49,1	49,1	49,1	55,3	55,3	72,2	72,2
	0,8h	58,1	55,9	37,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	50,4	50,4	67,5	67,5
	Дно	68,4	66,2	47,4	54,3	54,3	54,3	54,3	54,3	60,2	60,2	77,4	77,4
5	Пов.	41,3	39,1	20,1	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	32,0	32,0	50,1	50,1
	0,2h	54,5	52,3	33,3	43,1	43,1	43,1	43,1	43,1	46,3	46,3	63,4	63,4
	0,6h	57,1	54,9	35,3	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	49,1	49,1	65,7	65,7
	0,8h	63,8	62,6	42,6	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	55,6	55,6	72,4	72,4
	Дно	66,3	64,1	45,2	52,4	52,4	52,4	52,4	52,4	58,4	58,4	75,3	75,3



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Навчальне видання

*Косяк Діана Святославівна  
Холоденко Вікторія Святославівна  
Галік Олег Іванович  
Будз Олена Петрівна*

## **ГІДРОМЕТРІЯ ПРАКТИКУМ**

*Навчальний посібник*



*Друкується в авторській редакції*

*Технічний редактор*

*Г.Ф. Сімчук*

Підписано до друку 26.04.2018 р. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Ум.-друк. арк. 14,8. Обл.-вид. арк. 16,1.  
Тираж 100 прим. Зам. № 5376.

*Видавець і виготовлювач  
Національний університет  
водного господарства та природокористування  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного  
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої  
продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*