

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГРИБ О. М.

ГІДРОМЕТРІЯ

Конспект лекцій

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2020

УДК 556.5

Г82

Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол № 8 від 29.05.2014 р.)

Гриб О.М.

Гідрометрія: конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2014. 57 с.

У конспекті лекцій викладені питання, передбачені робочою програмою дисципліни «Гідрометрія», які пов'язані з методами обчислення стоку води та наносів за даними гідрологічних спостережень на річках і каналах регіональними підрозділами Управління гідрометеорології Державної служби надзвичайних ситуацій України на мережі гідрометеорологічних станцій та постів. *Конспект лекцій призначено* для забезпечення самостійного поглибленого вивчення лекційних тем, самостійної роботи при підготовці до аудиторних занять. *Конспект лекцій рекомендується* для студентів, які навчаються за напрямками підготовки «Гідрометеорологія» і «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» та за спеціальностями «Гідрологія» і «Прикладна екологія та збалансоване природокористування», а також для інших спеціалістів, які вивчають стік води та наносів річок і каналів.

ISBN 978-966-186-010-9

ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
ПЕРЕДМОВА	5
1 ОБЛІК ПОВЕРХНЕВИХ І ПІДЗЕМНИХ ВОД ТА ДЕРЖАВНИЙ ВОДНИЙ КАДАСТР	7
<i>Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 1</i>	<i>10</i>
2 ПОБУДОВА КРИВОЇ ВИТРАТ ВОДИ ПРИ ОДНОЗНАЧНІЙ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВИТРАТАМИ ТА РІВНЯМИ ВОДИ.....	11
2.1 Аналіз вихідних даних для обчислення стоку води.....	11
2.2 Побудова та ув'язка кривої витрат води при вільному руслі	13
<i>Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 2</i>	<i>17</i>
3 ПОБУДОВА КРИВОЇ ВИТРАТ ТА ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ ВОДИ ПРИ ВІДСУТНОСТІ ОДНОЗНАЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВИТРАТАМИ ТА РІВНЯМИ ВОДИ	18
3.1 Обчислення стоку в умовах несталого руху води в руслі річки.....	18
3.2 Обчислення стоку води при льодових явищах.....	21
3.3 Обчислення стоку води при заростанні русла.....	24
3.4 Обчислення стоку при нестійких руслах.....	26
3.4.1 Побудова системи тимчасових кривих витрат води	26
3.4.2 Приведення кривої витрат води до основного перерізу.....	27
3.4.3 Обчислення стоку води способом Стаута	28
3.4.4 Інтерполяція між вимірними витратами води	29
3.5 Основні методи обчислення стоку при змінному підпорі.....	30
3.5.1 Інтерполяція між вимірними витратами води при безперервній деформації русла	30
3.5.2 Зрізка підпорних рівнів води для обчислення стоку при короткостроковому змінному підпорі.....	30
3.5.3 Обчислення витрат води за допомогою кривих витрат для різних ухилів водної поверхні	31
3.5.4 Побудова кривої зв'язку між витратами води та ухилами водної поверхні	32
<i>Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 3</i>	<i>35</i>
4 ЕКСТРАПОЛЯЦІЯ КРИВОЇ ВИТРАТ ДО ЕКСТРЕМАЛЬНИХ РІВНІВ ВОДИ.....	36
<i>Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 4</i>	<i>39</i>
5 ОБЧИСЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКУ ТА ФОРМУВАННЯ ТАБЛИЦІ ВИТРАТ ВОДИ.....	40
<i>Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 5</i>	<i>43</i>
6 АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКУ ТА ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ ВОДИ	44
6.1 Автоматизація обліку стоку води	44
6.2 Автоматизація обчислення стоку води.....	45
<i>Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 6</i>	<i>47</i>

7 МЕТОДИ РОЗЧЛЕНОВУВАННЯ ГІДРОГРАФІВ ВИТРАТ ВОДИ ТА ОБЧИСЛЕННЯ ПІДЗЕМНОГО СТОКУ В РУСЛО РІЧКИ	48
7.1 Типові схеми розчленовування гідрографів річкового стоку	48
7.2 Визначення підземного стоку річок за методом О.С. Попова.....	50
7.3 Визначення підземної складової річкового стоку за гідрохімічними даними	51
<i>Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 7</i>	51
8 ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ ЗАВИСЛИХ НАНОСІВ	52
<i>Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 8</i>	55
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	56

ПЕРЕДМОВА

Конспект лекцій присвячений теорії та методам обчислення добового стоку води та наносів за даними спостережень на гідрологічних станціях і постах. Освоєння основних положень методів обчислення стоку води та наносів є важливим етапом підготовки гідролога у вищому навчальному закладі. Це дасть йому можливість забезпечувати необхідною інформацією функціональні й управлінські роботи, що є підґрунтям для прийняття відповідних адміністративних і науково-технічних рішень при використанні природних вод.

Дисципліна «Гідрометрія» відноситься до професійно-орієнтованого циклу навчального плану підготовки студентів за напрямом підготовки «Гідрометеорологія» за спеціальністю «Гідрологія» (пакет ГМ-4).

Метою конспекту лекцій є ознайомлення студентів з методами й алгоритмами обробки даних спостережень та обчислення витрат води і наносів в річкових створах для підготовки Державного водного кадастру.

Однією з головних задач гідрометрії, яка має велике практичне значення, є обчислення об'єму стоку річкових вод, що протікають через заданий річковий створ за добу, декаду, місяць, рік або інший проміжок часу (наприклад, за паводок), а також встановлення режиму стоку всередині року і за багаторічний період. Саме ці відомості є найважливішими вихідними даними для складання проектів гідротехнічних споруд, планування господарського використання вод і заходів щодо захисту та попередження про несприятливі впливи вод на життя і діяльність людей.

Поставлену вище задачу звичайно вирішують шляхом визначення середньодобових витрат води за всі дні року. Загальний об'єм стоку за рік, W_p , що визначає водні ресурси територій в межах річкового водозбору, обчислюється шляхом підсумовування добових об'ємів стоку, W_i . Добові об'єми стоку W_i встановлюються для кожної доби року, як добуток середньодобових витрат води, Q_i , та числа секунд в одній добі (86400).

Прямі щоденні вимірювання витрат води в річкових створах здійснити практично складно і економічно недоцільно. Тому в гідрометричній практиці визначення середньодобових витрат замінюють вимірювання деякої іншої характеристики річкового потоку, яка однозначно або майже однозначно пов'язана з витратою і визначається досить просто, наприклад, з рівнем води, H_i . Обчислення добових витрат в річках шляхом перерахунку добових рівнів води на водомірних постах в добові витрати води виконується з використанням кривої витрат води –

графіка зв'язку вимірюваних витрат води в річкових гідростворах з рівнями води $Q = f(H)$. Саме такий спосіб обчислення добового стоку пропонується в керівному документі для мережі гідрологічних станцій і постів «Наставлення гидрометеостанциям станциям и постам» [3, 5 – 10].

В зв'язку з тим, що побудова кривих витрат води та обчислення стоку є процесом, пов'язаним з трудомісткими і багаторазовими «ручними» перевітками графічного та розрахункового матеріалу, в 1995 році в роботу Державної гідрометеорологічної служби України було введено в дію автоматизовану програмну систему (ПС) «КАДАСТР» – робоче місце інженера-гідролога, розроблену в Одеському гідрометеорологічному інституті (нині – Одеський державний екологічний університет) доктором географічних наук, професором Іваненком Олександром Григоровичем.

ПС «КАДАСТР» включала в себе ряд програм, які дозволяли провести повний цикл розрахунків щоденних витрат такими способами – способом інтерполяції перехідних коефіцієнтів, з урахуванням кривої витрат води для періоду вільного русла, комбінованим способом. На жаль, в зв'язку з тим, що дана програма може бути використана лише на ПК в режимі DOS, останні роки вона майже не застосовується.

Застосування комп'ютерних технологій для побудови графічних і табличних матеріалів на багато порядків зменшує трудомісткість проміжних і кінцевих результатів розрахунків, а їх висока точність майже повністю позбавляє від необхідності багаторазових «ручних» перевірок, збільшуючи якість вихідних матеріалів. Це дозволяє фахівцеві-гідрологу більш ефективно застосовувати свої професійні навички аналізу й обліку особливостей гідрофізичних умов руху води в річках для більш точного встановлення меж критичних періодів режиму руслового стоку, оперативно оцінювати різні варіанти математичного опису ходу гідрологічних процесів.

В результаті вивчення дисципліни «Гідрометрія» студенти повинні набути знань основних алгоритмів контролю і первинної обробки даних гідрологічних спостережень на річках для обчислення добового стоку води та наносів, методів апроксимації кривих витрат води та наносів, основних характеристик стоку та способів їх обчислення за різні періоди часу.

Після вивчення дисципліни студенти повинні набути вміння нанесення даних гідрологічних спостережень на технічні носії, встановлення за допомогою програм на персональному комп'ютері параметрів аналітичних рівнянь кривих витрат води, вибору оптимального варіанта обчислення добового стоку в гідростворах річок, підготовки підсумкових таблиць для їх публікації в складі видань водного кадастру.

1 ОБЛІК ПОВЕРХНЕВИХ І ПІДЗЕМНИХ ВОД ТА ДЕРЖАВНИЙ ВОДНИЙ КАДАСТР

Державний облік поверхневих і підземних вод представляє собою систематичне визначення і фіксацію в установленому порядку кількості та якості водних ресурсів, що є на даній території.

Державний облік поверхневих і підземних вод здійснюється з метою забезпечення поточного і перспективного планування раціонального використання водних об'єктів, їх відновлення і охорони.

Дані державного обліку поверхневих і підземних вод характеризують стан поверхневих і підземних водних об'єктів за якісними і кількісними показниками, ступені їх вивченості та використання.

Державний облік підземних і поверхневих вод здійснюється за єдиною системою і базується на даних обліку використання поверхневих і підземних вод, що надаються водокористувачами, і державного моніторингу водних об'єктів.

В Україні діє загальнодержавна система обліку вод і їх використання.

Державний облік вод (ДОВ) повинен забезпечити отримання даних, які надають можливість:

- ведення державного водного кадастру і складання схем комплексного використання водних ресурсів;
- планування та використання вод і проведення водоохоронних заходів;
- проектування водогосподарських, транспортних, промислових й інших підприємств і споруд, пов'язаних з використанням вод;
- оперативного управління водогосподарськими системами;
- нормування споживання та скидання вод і , а також показників якості води;
- розробити заходи щодо попередження та ліквідації шкідливого впливу вод;
- прогнозування змін гідрологічних умов, водності річок і якості вод;
- здійснення державного контролю за вживанням заходів щодо раціонального використання і охорони вод.

Основним джерелом інформації про гідрологічний режим і стан водних об'єктів є опорна гідрологічна вимірювальна мережа станцій і постів на річках, каналах, озерах і водосховищах.

ДОВ підлягають всі води, що складають єдиний державний водний фонд країни.

До єдиного водного фонду країни відносяться:

- поверхневі води річок, озер, водосховищ, каналів і ставків, а також інші джерела води;
- підземні води;
- води внутрішніх морів;
- територіальні води.

Державний водний кадастр (ДВК) є зведення даних по водних об'єктах, про їх водні ресурси, використання водних об'єктів, водокористувачів. ДВК ведеться за єдиною системою та ґрунтується на даних ДОВ. Дані ДВК є основою для ухвалення рішень при здійсненні державного управління в області використання і охорони водних об'єктів.

Система обліку вод повинна засновуватись на систематичних і безперервних вимірюваннях:

- гідрологічних і гідрохімічних елементів режиму водних об'єктів, що складають єдиний водний фонд;
- кількості води, що забирається всіма водокористувачами з водних об'єктів;
- кількості промислових, сільськогосподарських, дренажних і комунально-побутових стічних вод, що скидаються у водні об'єкти, їх фізико-хімічних властивостей і кількості речовин, що виносяться ними.

Матеріали ДВК є офіційними державними даними. ДВК складається з фонду даних і матеріалів, що публікуються.

У фонд даних ДВК входять:

- періодичні або каталожні відомості про водні і водогосподарські об'єкти, пункти спостережень, що оновлюються та доповнюються;
- результати стаціонарних спостережень за станом і режимом водних об'єктів, дані первинного обліку використання вод;
- результати обробки й узагальнення даних спостережень і вимірювань.

Доведення кадастрової інформації до споживачів здійснюється шляхом публікації даних ДВК за розділами:

Розділ 1. Поверхневі води;

Розділ 2. Підземні води;

Розділ 3. Використання води.

Кожний з цих розділів поділяється на серії:

Серія 1. Каталогів дані (у розділі 1 на сьогодні каталогом є раніше виданий довідник «Ресурси поверхностных вод СССР», частина 1 – «Гидрологическая изученность»);

Серія 2. Щорічні дані;

Серія 3. Багаторічні дані.

Для обчислення стоку використовують дані, що опубліковані в серії 2 «Щорічні дані» розділу 1 «Поверхневі води» у виданнях:

«Щорічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші»;

«Щорічні дані про якість вод суші»;

«Щорічні дані про якість вод морів та морських гирл річок»;

«Каталог селевих басейнів і осередків».

Видання *«Щорічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші»* – гідрологічний щорічник (ГЩ), складається з двох частин:

Частина 1. «Річки і канали» – дані стандартних гідрологічних спостережень на річках за рівнем і температурою води, станом водного об'єкта, товщиною льоду, стоком води і наносів, дані про ресурси поверхневих вод та їх використання;

Частина 2. «Озера і водосховища» – дані стандартних гідрологічних спостережень на озерах, лиманах і водосховищах (на берегових постах і акваторії водойми) за рівнем і температурою води, станом водного об'єкта, товщиною льоду, а також водний баланс водосховищ.

Дані про стік води на вхідних до водосховищ створах і дані обліку стоку на гідровузлах гідроелектростанцій (ГЕС) публікуються у *частині 1 «Річки і канали»*, а по інших озерних постах і постах на водосховищах, розташованих між вхідним створом і гідровузлами ГЕС – у *частині 2 «Озера і водосховища»*. Частини 1 та 2 гідрологічного щорічника найчастіше публікуються в окремих виданнях.

Для зручності користування гідрологічним щорічником встановлена єдина, постійна для усіх випусків, нумерація таблиць, що зберігається з року в рік. Тому зміст *частини 1 «Річки і канали»* ГЩ має такий вигляд:

Передмова. Прийняті скорочення.

Схема поділу видання на випуски.

Алфавітний список річок, каналів, водосховищ і озер.

Схема розташування постів.

Частина 1. Річки і канали.

Таблиця 1.1. Список постів на річках і каналах. Опис постів. Огляд режиму річок. *Таблиця 1.2.* Рівень води. *Таблиця 1.3.* Витрата води. *Таблиця 1.4.* Виміряні витрати води. *Таблиця 1.5.* Виміряні витрати завислих наносів. *Таблиця 1.6.* Середні витрати завислих наносів. *Таблиця 1.7.* Питома вага донних відкладів. *Таблиця 1.8.* Ресурси поверхневих вод. *Таблиця 1.9.* Мутність води. *Таблиця 1.10.* Витрати завислих наносів. *Таблиця 1.11.* Гранулометричний склад і щільність наносів. *Таблиця 1.12.* Температура води. *Таблиця 1.13.* Товщина льоду і висота снігу на льоду. *Таблиця 1.14.* Льодові явища на ділянці поста.

*Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу
розділу 1*

1. Що представляє собою державний облік поверхневих і підземних вод та з якою метою він здійснюється?
2. Що характеризують дані державного обліку поверхневих і підземних вод та за якою системою він здійснюється і на яких даних базується?
3. Які можливості надають дані ДОВ?
4. Що є основним джерелом інформації про гідрологічний режим і стан водних об'єктів та які з них підлягають ДОВ і відносяться до єдиного водного фонду країни?
5. Що таке ДВК та за якою системою він ведеться і на яких даних ґрунтується?
6. На даних яких вимірювань засновується система ДОВ?
7. Що входить до фонду даних ДВК?
8. З яких розділів та серій складаються матеріали ДВК?
9. Які видання входять до серії 2 «Щорічні дані» розділу 1 «Поверхневі води»?
10. Які дані публікуються у частинах гідрологічного щорічника?
11. В яких частинах гідрологічного щорічника публікуються такі відомості:
 - дані про стік води на вхідних до водосховищ створах;
 - дані обліку стоку на гідровузлах ГЕС;
 - дані озерних постів і постів на водосховищах, розташованих між вхідним створом і гідровузлами ГЕС?
12. Які розділи і таблиці друкуються у частині 1 «Річки і канали» гідрологічного щорічника?

2 ПОБУДОВА КРИВОЇ ВИТРАТ ВОДИ ПРИ ОДНОЗНАЧНІЙ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВИТРАТАМИ ТА РІВНЯМИ ВОДИ

Рівні води вимірюються щодня, а витрати води порівняно рідко. Частота вимірювань витрат води залежить від сезонів року. В період водопілля роблять 4-5 вимірювань на його підйомі та 5-8 на спаді. Під час межені в теплий період року витрати води вимірюють через 7-10 діб. При льодоставі – через 10-20 діб. Тому для обчислення щоденних витрат води найчастіше використовують залежність витрат від рівнів води $Q = f(H)$.

Залежність між витратами та рівнями води виражається графічно за допомогою кривої витрат (КВ), що будується для обчислення стоку води.

Стоком води називається кількість води, що проходить через поперечний переріз водотоку за певний проміжок часу, наприклад, доба, декада, місяць, сезон, рік та багаторічний період.

Всередині річного циклу виділяють окремі періоди, для яких стік обчислюється різними методами, наприклад, період льодоставу, період розвитку водної рослинності та інші. Найпростіший вигляд залежності витрат від рівнів води має у випадку рівномірного руху води в руслі річки, що не має деформацій.

2.1 Аналіз вихідних даних для обчислення стоку води

Перед початком обчислення стоку води виконують опис пункту спостережень за стоком води та прилеглої ділянки річки, аналіз таблиць «Рівень води» та «Виміряні витрати води» для обрання методів і способів обчислення стоку води та періодів, для яких вони будуть застосовані.

Аналіз ділянки і пункту спостереження за водним режимом річки виконується з використанням матеріалів, опублікованих в таблиці 1.1 «Список постів на річках і каналах» та розділі «Опис постів» (за роки кратні 5, наприклад, 1990 чи 2000 рр. або 1985 рік). Крім того аналізуються зміни, що відбулися в створі водомірного поста та на ділянці річки, які друкуються в кожному гідрологічному щорічнику.

При виконанні цього пункту завдання обов'язково вказуються:

- 1) наявність заплави;
- 2) рівень води, при якому заплава починає затоплюватися;
- 3) в яких гідрометричних створах виконуються вимірювання;
- 4) наявність тих або інших антропогенних чинників, які впливають на водний режим на ділянці річки.

При аналізі таблиці рівнів води обов'язково вказується:

- аналіз рівнів води, з вказівкою максимального, мінімального та середньорічного значення рівня води;

- аналіз льодових явищ, з вказівкою даних про льодостав, льодохід, забереги, шугохід та інші льодові явища і періоди їх проходження.

Аналіз таблиці з щоденними рівнями води (ЩРВ) виконується у такій послідовності **(приклад)**:

аналіз рівнів води:

- ЩРВ вимірювалися на р. Дністер в пункті с. Маяки за 2008 рік;

- максимальне значення рівня води відмічене 20 серпня (в період дощового паводка) і становило 212 см;

- мінімальне значення рівня води відмічене з 11 по 22 липня і становило 98 см;

- середньорічне значення рівня води склало 156 см;

аналіз льодових явищ:

- льодостав спостерігався з 1 січня по 14 квітня та з 22 жовтня по 31 грудня;

- льодохід спостерігався з 15 по 22 квітня та з 19 по 21 жовтня;

- забереги та шугохід спостерігалися з 12 по 18 жовтня.

При аналізі таблиці виміряних витрат води обов'язково вказуються:

- загальна кількість вимірювань витрати води за рік;

- кількість вимірювань при заростанні русла водяною рослинністю, льодоставі, льодоході, шугоході, заберегах тощо;

- кількість вимірювань при вільному руслі;

- значення максимальної та мінімальної виміряних витрат води, фази водного режиму та дати їх проходження.

Аналіз таблиці з виміряними витратами води (ВВВ) виконується у такій послідовності **(приклад)**:

- за календарний 2008 рік на р. Дністер в пункті с. Маяки загальна кількість вимірювань витрати води склала 44 рази;

- при льодоставі (лдст) виконано 14 вимірювань витрати води;

- при льодоході (лдох), рідкому льодоході (рлдох), шугоході та заберегах (заб) виконано 7 вимірювань витрати води;

- при вільному руслі (св) виконано 23 вимірювання витрати води;

- таблиця висвітлена ВВВ при вільному руслі на 52,3 %;

- максимальна витрата води – 1250 м³/с, виміряна 19 серпня, на підйомі дощового паводка влітку та відповідає рівню 198 см;

- мінімальна витрата води – 175 м³/с, виміряна 18 липня, в період межені влітку та відповідає рівню 98 см.

2.2 Побудова та ув'язка кривої витрат води при вільному руслі

Для побудови кривої витрат води (КВВ) використовують значення вимірних витрат води (ВВВ) і відповідні їм рівні води. Ці матеріали за календарні роки публікуються в таблиці з ВВВ. КВВ будується в прямокутній системі координат (рис. 2.1), де також проводяться лінії, що відповідають максимальному та мініимальному рівням води в річці. Графічно залежність $Q = f(H)$ виражається у вигляді однієї плавної кривої, на якій певному значенню рівня води відповідає одне певне значення витрати води. Така залежність називається однозначною.

Порядок побудови КВВ $Q = f(H)$ і пов'язаних з нею кривих площ вільного поперечного перерізу річки $F = f(H)$ і середніх швидкостей руху води $V = f(H)$ визначено в «Наставленнях гидрометеорологическим станциям и постам» (вип. 6, ч. 3) та в іншій спеціальній літературі [3-12].

Відповідно до [3-12] для побудови КВВ на графік наносять точки ВВВ, використовуючи різні умовні позначення для витрат, вимірних при різних умовах стоку води. На осі ординат відкладають рівні води (H , см), а на осі абсцис – ВВВ (Q , м³/с). КВВ проводять «на око» плавною лінією, по середині смуги розсіювання точок витрат, вимірних при вільному стані русла. Тобто при проведенні цієї лінії не враховують точки витрат, вимірних при льодоставі та розвитку водної рослинності, а також ті точки ВВВ при вільному руслі, які відхилились від загальної смуги точок більш ніж на 10-15 %.

На тому ж кресленні будують криві площ вільного поперечного перерізу річки $F = f(H)$ та середніх швидкостей руху води $V = f(H)$. Для їх побудови використовується та ж шкала рівнів води на осі ординат (H , см), що і для КВВ.

На осі абсцис відкладають: для кривої площ – площі вільного поперечного перерізу річки (F , м²), а для кривої середніх швидкостей – середні швидкості руху води (V , м/с). Ці шкали креслять з деяким зсувом вправо та вниз (для шкали площ), як показано на рис. 2.1.

Дані для побудови кривих $F = f(H)$ та $V = f(H)$ також беруть із таблиці ВВВ.

Криві площ і середніх швидкостей необхідні для екстраполяції КВВ та для аналізу надійності ВВВ і побудови кривої зв'язку $Q = f(H)$. Всі три криві (рис. 2.1) повинні бути пов'язані між собою при будь-якому певному значенні рівня води (H , см) рівнянням:

$$Q_{кр} = Q_{обч} = F_{кр} \cdot V_{кр}, \quad (2.1)$$

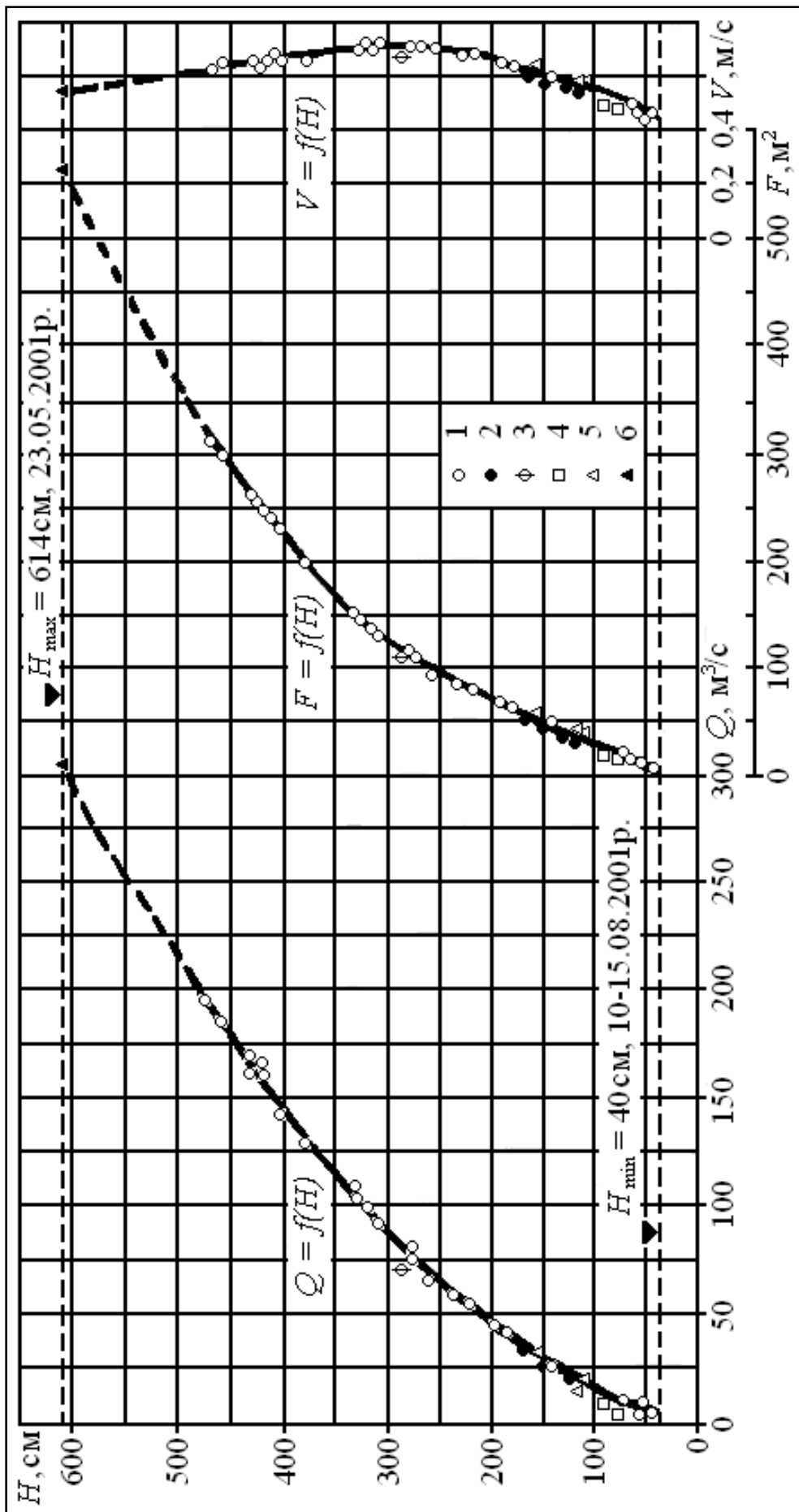


Рис. 2.1 – Криві зв'язку $Q = f(H)$, $F = f(H)$ та $V = f(H)$, р. Дністер – смт Григориопіль, 2001 рік [4]:
 1 – період вільного русла, 2 – льодостав, 3 – льодохід, 4 – заростання, 5 – забереги, 6 – екстрапольовані значення

де $Q_{кр}$, $F_{кр}$ та $V_{кр}$ – відповідно, значення витрати води в м³/с, площі поперечного вільного перерізу річки в м² та середньої швидкості руху води в м/с, знятих з відповідних кривих при одному рівні води;

$Q_{обч}$ – обчислена витрата води в м³/с, з використанням $F_{кр}$ та $V_{кр}$, знятих при тому ж самому рівні води, що й $Q_{кр}$.

Ув'язка кривих робиться при певних значеннях рівня води через однакові інтервали. При цьому керуються правилом, якщо обчислена витрата ($Q_{обч}$) відрізняється від знятої з КВВ ($Q_{кр}$) більш ніж на 1,5 %, то треба, з'ясувавши причини цього, виправити якусь одну або всі три криві.

Приклад ув'язки кривих $Q = f(H)$, $F = f(H)$ та $V = f(H)$ наведено нижче в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Ув'язка кривих $Q = f(H)$, $F = f(H)$ та $V = f(H)$,
р. Дністер – смт Григориопіль, 2001 рік [4]

H , см	$F_{кр}$, м ²	$V_{кр}$, м/с	$Q_{обч}$, м ³ /с	$Q_{кр}$, м ³ /с	$\Delta Q = Q_{обч} - Q_{кр}$, м ³ /с	$\sigma = (\Delta Q / Q_{кр}) \cdot 100$, %
...
400	219	0,67	146	145	1,0	0,69
350	166	0,69	114	114	0,0	0,00
300	123	0,71	87,3	87,5	-0,2	-0,23
...

Отримана після ув'язки крива $Q = f(H)$ використовується для обчислення за рівнем води будь-якої витрати води (за всією амплітудою коливання рівня води впродовж року від H_{min} до H_{max}). Для цього складається розрахункова таблиця координат кривої витрат (ККВ), приклад якої наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Координати кривої витрат,
р. Дністер – смт Григориопіль, 2001 рік

H , см	Q , м ³ /с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
...
40	5,20	5,34	5,48	5,62	5,76	5,90	6,04	6,18	6,32	6,46
50	6,60	6,78	6,96	7,14	7,32	7,50	7,68	7,86	8,04	8,32
...
610	296	298	300	302	304					

Величину інтервалу для обчислення ККВ беруть рівною 10 см. Далі, через кожні 10 см для рівнів, значення яких кратні 10, а також для H_{min} та H_{max} знімають з КВВ відповідні цим рівням витрати води. Інтерполяція витрат усередині інтервалу робиться за алгоритмом викладеним нижче. **Наприклад**, рівню $H = 80$ см, відповідає витрата води $Q = 12,4$ м³/с, а для $H = 90$ см, $Q = 14,5$ м³/с, отже, на 10 см рівня витрата води зростає на: $\Delta Q = 14,5 - 12,4 = 2,10$ м³/с. Тобто, на 1 см усередині вказаного інтервалу, витрата води збільшується на: $\Delta q = \Delta Q / 10 = 2,10 / 10 = 0,21$ м³/с.

Округляючи обчислені витрати до третьої значущої цифри, одержимо:

для $H = 81$ см, $Q = 12,40 + 0,21 = 12,61 \approx 12,6$ м³/с;

для $H = 82$ см, $Q = 12,61 + 0,21 = 12,82 \approx 12,8$ м³/с;

для $H = 83$ см, $Q = 12,82 + 0,21 = 13,03 \approx 13,0$ м³/с;

для $H = 84$ см, $Q = 13,03 + 0,21 = 13,24 \approx 13,2$ м³/с;

для $H = 85$ см, $Q = 13,24 + 0,21 = 13,45 \approx 13,4$ м³/с;

для $H = 86$ см, $Q = 13,45 + 0,21 = 13,66 \approx 13,7$ м³/с;

для $H = 87$ см, $Q = 13,66 + 0,21 = 13,87 \approx 13,9$ м³/с;

для $H = 88$ см, $Q = 13,87 + 0,21 = 14,08 \approx 14,1$ м³/с;

для $H = 89$ см, $Q = 14,08 + 0,21 = 14,29 \approx 14,3$ м³/с;

для $H = 90$ см, $Q = 14,29 + 0,21 = 14,50 \approx 14,5$ м³/с – перевірка.

Якщо величина витрати менша, ніж 1 м³/с, то таблиця складається з точністю до 0,001 м³/с. Розрахункова таблиця складається на всю амплітуду побудови кривої $Q = f(H)$, тобто від H_{min} до H_{max} .

Після складання розрахункової таблиці ККВ виконують перевірку отриманої залежності $Q = f(H)$, обчислюючи імовірну похибку (δ) відхилень ВВВ ($Q_{вим}$) від витрат з таблиці ККВ ($Q_{ККВ}$). Розрахунок імовірної похибки побудови КВ робиться для тих ВВВ, які враховувалися при її проведенні. Приклад обчислення δ наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Обчислення імовірної похибки побудови КВ,
р. Дністер – смт Григориопіль, 2001 рік

$H_{вим}$, см	$Q_{вим}$, м ³ /с	$Q_{ККВ}$, м ³ /с	$\Delta Q = Q_{вим} - Q_{ККВ}$, м ³ /с	$\sigma = (\Delta Q / Q_{вим}) \cdot 100$, %	σ^2
461	188	194	-6,00	-4,79	22,9
...
46	6,30	6,04	0,26	4,13	17,0
54	6,99	7,32	-0,33	-4,72	22,3
$\sum(\sigma^2)$					397
$\delta = \pm$					2,74%

Середня імовірна похибка (δ) обчислюється за формулою:

$$\delta = \pm 0,674 \cdot \sqrt{\frac{\sum(\sigma^2)}{n}}, \quad (2.2)$$

де σ – відхилення, %; n – кількість вимірних витрат, які враховувалися при побудові КВ.

Залежність $Q = f(H)$ можна вважати надійною та однозначною, якщо величина імовірної похибки не перевищує 4 % (в прикладі, $\delta = \pm 2,74$ %).

Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 2

1. З якою частотою виконуються вимірювання витрат води в залежності від фаз водного режиму?
2. Що таке стік води та для яких періодів його розраховують?
3. Для яких періодів та які дані використовують при побудові КВВ?
4. В якому порядку будується КВВ?
5. Які ще криві будуються при побудові КВВ та для чого?
6. Що роблять при побудові КВВ з точками, які відхилилися від загальної смуги точок більш ніж на 10 %?
7. Які умовні позначення використовують при побудові кривих зв'язку $Q = f(H)$, $F = f(H)$ та $V = f(H)$?
8. Яким чином будують криві $F = f(H)$ та $V = f(H)$?
9. Яким рівнянням повинні бути пов'язані між собою криві зв'язку $Q = f(H)$, $F = f(H)$ та $V = f(H)$?
10. Поясніть, яким чином формується таблиця «Ув'язка кривих ...»?
11. Як розраховується таблиця координат кривої витрат (ККВ)?
12. З якою точністю складається таблиця ККВ?
13. Яким чином формується таблиця обчислення імовірної похибки побудови КВВ?
14. Поясніть формулу обчислення середньої імовірної похибки (δ)?
15. Коли залежність $Q = f(H)$ вважають надійною та однозначною?

3 ПОБУДОВА КРИВОЇ ВИТРАТ ТА ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ ВОДИ ПРИ ВІДСУТНОСТІ ОДНОЗНАЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВИТРАТАМИ ТА РІВНЯМИ ВОДИ

На річках, де пропускна спроможність русла змінюється під впливом різних гідравлічних, морфологічних, метеорологічних або інших чинників, осереднення точок ВВВ є неправомірним, а залежність $Q = f(H)$ вважається неоднозначною. В таких випадках обчислення стоку води виконується з використанням графічних і аналітичних методів представлених нижче.

3.1 Обчислення стоку в умовах несталого руху води в руслі річки

Несталий рух води спостерігається в річках при проходженні весняного водопілля та паводків впродовж року, а також на ділянках річок нижче за гідротехнічні споруди при різкому збільшенні витрати води (наприклад, при попусках тобто при скиданнях води через отвори дамби).

Несталий рух води виявляється у формі хвилі, що переміщається по руслу і має пологий фронт і ще більш пологоу тилову частину (рис. 3.1). При проходженні хвилі паводка через гідроствор спочатку (на підйомі) рівень води підвищується ($H_{\text{п}}$), а потім (на спаді) – падає ($H_{\text{с}}$). Ухил водної поверхні на підйомі більший, ніж на спаді ($I_{\text{п}} > I_{\text{с}}$), тому при одному і тому ж рівні води ($H_{\text{п}} = H_{\text{с}}$) в період підйому спостерігаються більші швидкості ($V_{\text{п}} > V_{\text{с}}$) та витрати ($Q_{\text{п}} > Q_{\text{с}}$) води, чим на спаді, що видно з гідравлічної формули Шезі-Маннінга для визначення витрат води:

$$Q = F \cdot V, \quad (3.1)$$

$$V = C \cdot R^{1/2} \cdot I^{1/2}, \quad (3.2)$$

$$C = \frac{h_{\text{сеп.}}^{1/6}}{n}, \quad (3.3)$$

$$Q = \frac{F}{n} \cdot h_{\text{сеп.}}^{2/3} \cdot I^{1/2}, \quad (3.4)$$

де Q – витрата води, м³/с;
 F – площа поперечного живого перерізу, м²;
 V – швидкість руху води, м/с;
 I – ухил водної поверхні, в частках від одиниці;
 R – гідравлічний радіус русла, який приблизно дорівнює його середній глибині $R \approx h_{\text{сеп.}}$, м;
 C – коефіцієнт Шезі, м⁻¹;
 n – коефіцієнт шорсткості русла.

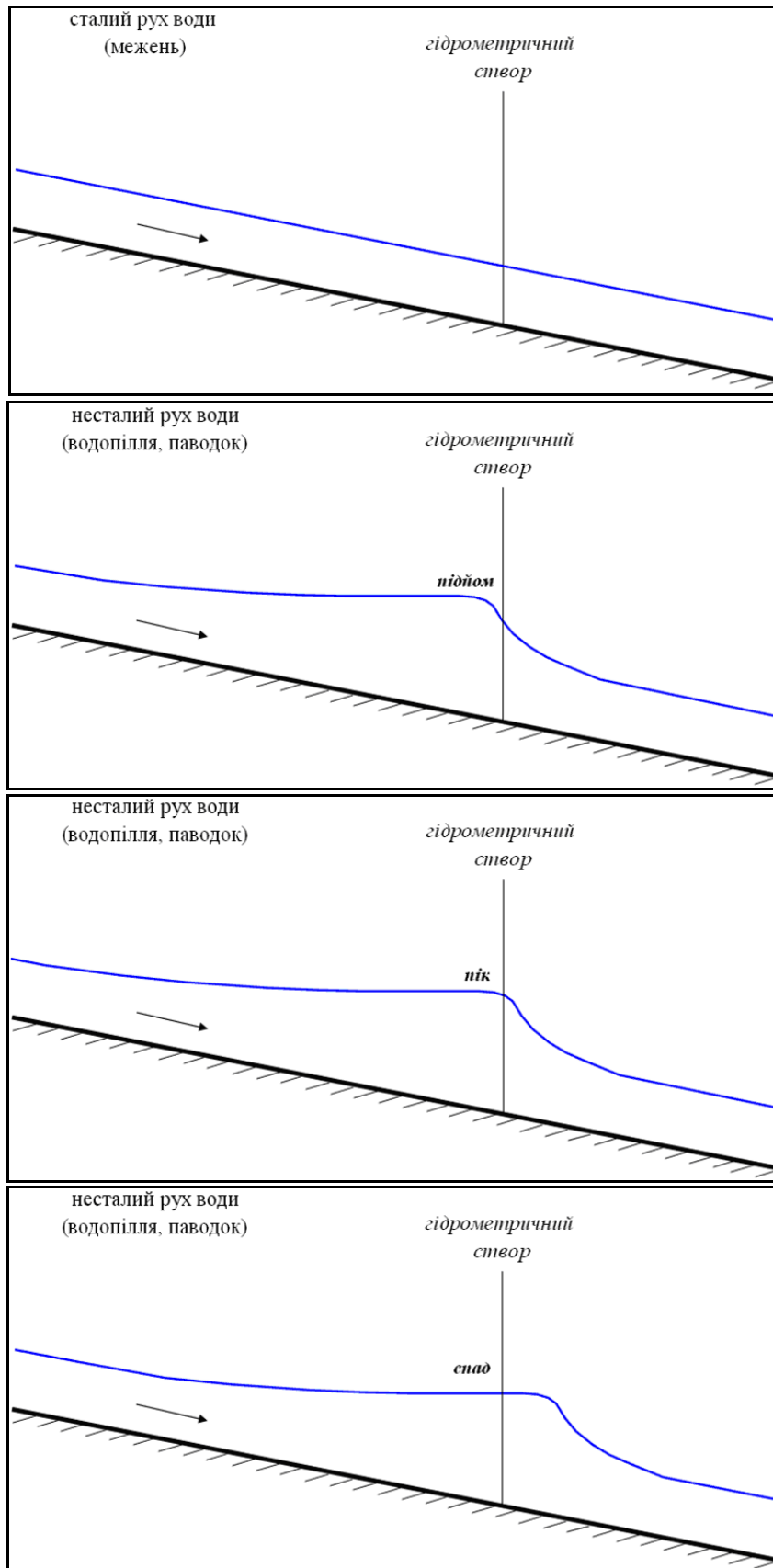


Рис. 3.1 – Поздовжній профіль водної поверхні в умовах сталого (межень) та несталого (водопілля, паводок) руху води в руслі річки

При несталому русі води для кривої витрат $Q = f(H)$ характерна наявність декількох гілок: підйому і спаду відповідають окремі гілки, при цьому гілка підйому розташовується праворуч від гілки спаду (рис. 3.2). Такі ж гілки спостерігаються і при побудові кривої швидкостей $V = f(H)$, оскільки швидкість залежить від ухилу. Крива площ $F = f(H)$ при цьому не змінюється, тому що площа водного перерізу залежить тільки від рівня води.

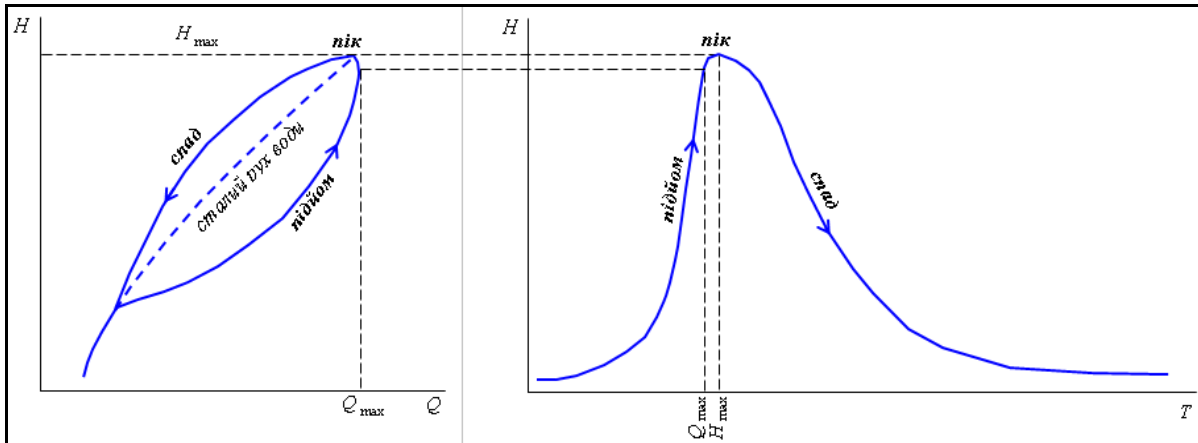


Рис. 3.2 – Крива витрат води (зліва) та гідрограф рівнів води (справа) в умовах несталого руху води в руслі річки в періоди водопіль і паводків

З рис. 3.2 видно, що при початку інтенсивного підйому рівня крива витрат відходить вправо від основної кривої витрат сталого руху. Найбільша витрата води Q_{\max} спостерігається дещо раніше від моменту настання найвищого рівня H_{\max} , тому крива підйому, досягнувши найбільшого значення по абсцисі, повертає вліво. Досягнувши максимуму по ординаті, вона переходить в криву спаду. Точка примикання кривої спаду до основної кривої відповідає кінцю ясно вираженого спаду паводка і настанню сталого руху води в руслі. Крива витрат сталого руху (рис. 3.2) проводиться між кривими підйому і спаду пунктиром, у верхній частині вона доводиться до найвищого рівня. Напрямок цієї частини кривої може визначатись шляхом екстраполяції.

Якщо при проходженні паводка спостерігалось декілька підйомів і спадів, то крива витрат набуває складнішого вигляду. Для правильної побудови кривої витрат при такому неодноразовому паводку потрібно освітити її достатньою кількістю виміряних витрат води. Кожному піку відповідає своя петля, що складається з кривої підйому, яка відповідає періоду підйому рівня, та кривої спаду, яка відповідає періоду спаду рівня.

Обчислення стоку води за період паводка роблять за допомогою кривих підйому і спаду. Витрати визначають з використанням добових рівнів за тією гілкою петлеподібної кривої, яка відповідає даному періоду.

3.2 Обчислення стоку води при льодових явищах

На більшості річок України осінню, після стійкого переходу температури повітря через 0°C у бік від'ємних значень, на поверхні води з'являються льодові явища – шуга, забереги, льодохід. При подальшому зниженні температур повітря та охолодженні річкових вод на поверхні річок може утворитися суцільний льодостав, а також супутні йому явища – затори та зажори.

У періоди тривалих зимових відлиг, а також у весняний період льодостав порушується, утворюючи льодохід, спочатку густий, а потім середній та рідкий. У зв'язку з динамічністю згаданих вище льодових явищ та їхньою зміною, гідравлічні умови протікання води на ділянці гідроствору змінюються протягом усього осінньо-зимово-весняного періоду. Цей вплив порушує однозначність залежності витрат від рівнів, відхиляючи точки витрат ліворуч від кривої, побудованої по витратах вільного русла (рис. 3.3).

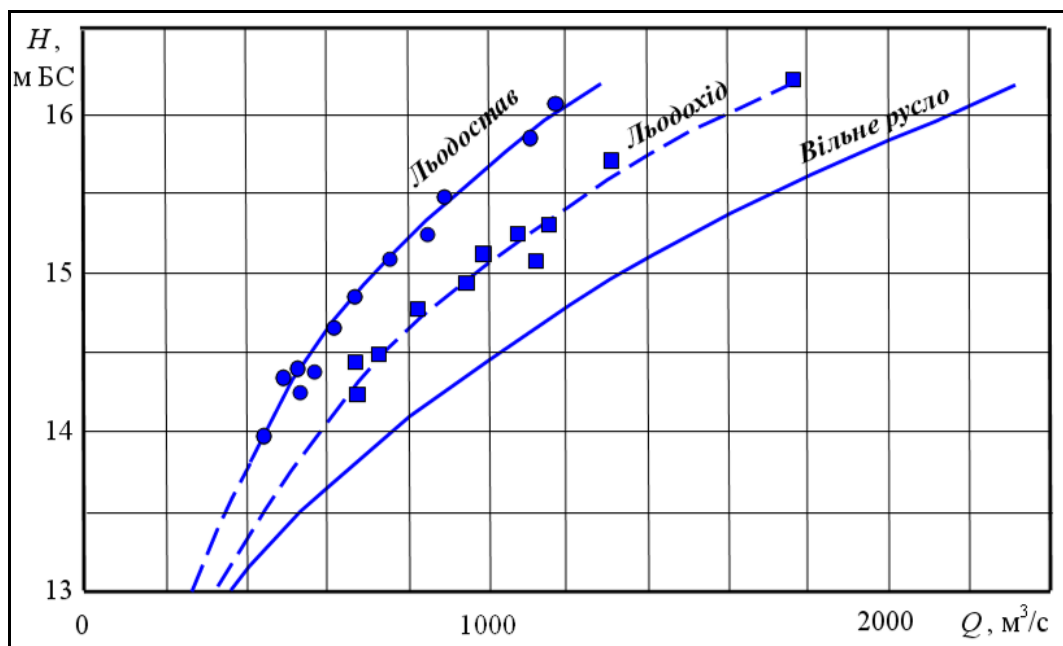


Рис. 3.3 – Криві зимових витрат води

Зменшення зимових витрат в порівнянні з витратами при вільному руслі для одних і тих же рівнів пов'язане з тим, що льодові явища створюють додатковий опір річковому потоку за рахунок підпору русла річки льодяними формами, а також в зв'язку із збільшенням площі тертя за рахунок нижньої поверхні льоду (при льодоставі площа змоченого периметра практично подвоюється).

Якщо для періоду року з льодовими явищами вдається встановити залежність $Q_{\text{зим}} = f(H)$, то вона використовується для обчислення добових витрат води (рис. 3.3).

Затори і зажори зумовлюють змінний підпір. Ополонки сприяють утворенню внутрішньоводного льоду та його скупчень на ділянках річки нижче гідрометричного створу. У цих умовах не вдається отримати достатньо стійку залежність $Q = f(H)$, тому виникає необхідність в застосуванні інших способів обчислення стоку. Для обчислення стоку води в цих випадках найбільше застосування знаходять спосіб інтерполяції між вимірними витратами води та спосіб перехідних коефіцієнтів $K_{\text{зим}}$.

Застосування способу інтерполяції між вимірними витратами води можливе за наявності частих вимірювань витрат – не менше п'яти-шести вимірювань на місяць. За даними вимірювань витрат викреслюють хронологічний графік змін витрат у часі. По нанесених на графік точках витрат проводять плавну лінію – гідрограф витрат води. При різкому відхиленні окремих точок від загального напрямку лінії слід виконати аналіз причини цього, використовуючи комплексний графік.

Спосіб обчислення щоденних витрат води з використанням зимових перехідних коефіцієнтів $K_{\text{зим}}$, введених С. Колупайло [5], заснований на встановленому факті дещо меншої мінливості в часі відношення, яке характеризує зміну пропускнуої спроможності річкового русла

$$K_{\text{зим}} = \frac{Q_{\text{зим}}}{Q_{\text{віл}}}, \quad (3.5)$$

де $Q_{\text{зим}}$ та $Q_{\text{віл}}$ – відповідно, витрати води, виміряні при льодових явищах і визначені за допомогою кривої витрат для вільного русла, при однаковому рівні води.

Залежність перехідного коефіцієнта $K_{\text{зим}}$ від чинників, що його визначають, можна записати за допомогою виразів для $Q_{\text{зим}}$ і $Q_{\text{віл}}$, відповідно, (3.8) та (3.9), складених на базі формули Шезі (3.6) з використанням формули Шезі-Маннінга (3.7):

$$Q = F \cdot V_{\text{сер}} = F \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot I} = \frac{F}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}, \quad (3.6)$$

де F – площа водного перерізу русла; R – гідравлічний радіус русла (приблизно дорівнює середній глибині $h_{\text{сер}}$); I – ухил водної поверхні; n – коефіцієнт шорсткості русла; $V_{\text{сер}}$ – середня швидкість течії, що обчислюється за формулою Шезі-Маннінга:

$$V_{\text{сеп}} = C \cdot \sqrt{R \cdot I} = \frac{R^{\frac{2}{3}}}{n} \cdot I^{\frac{1}{2}}, \quad (3.7)$$

де C – коефіцієнт Шезі;

$$Q_{\text{зим}} = \frac{F_{\text{зим}} \cdot h_{\text{зим}}^{\frac{2}{3}} \cdot I_{\text{зим}}^{\frac{1}{2}}}{n_{\text{зим}}}, \quad (3.8)$$

$$Q_{\text{віл}} = \frac{F_{\text{віл}} \cdot h_{\text{віл}}^{\frac{2}{3}} \cdot I_{\text{віл}}^{\frac{1}{2}}}{n_{\text{віл}}}. \quad (3.9)$$

Вираз для $K_{\text{зим}}$ можна скласти, поділивши рівняння (3.8) на (3.9), оскільки витрати $Q_{\text{зим}}$ і $Q_{\text{віл}}$ віднесені до одного рівня:

$$K_{\text{зим}} = \frac{F_{\text{зим}}}{F_{\text{віл}}} \cdot \left(\frac{h_{\text{зим}}}{h_{\text{віл}}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{n_{\text{зим}}}{n_{\text{віл}}} \cdot \left(\frac{I_{\text{зим}}}{I_{\text{віл}}} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (3.10)$$

При наявності льодоставу добуток перших двох множників виразу (3.10) завжди менше за 1, а його величина залежить від глибини затопленого льоду, оскільки $F_{\text{зим}}$ менше живого перерізу $F_{\text{віл}}$ на величину площі затопленого льоду, а $h_{\text{зим}}$ менше $h_{\text{віл}}$ на глибину затопленого льоду. Третій множник також завжди менше за 1, оскільки коефіцієнт шорсткості русла з льодовими явищами перевищує шорсткість русла без таких. Відношення ухилів може бути різним в залежності від місцеположення ділянки створу по відношенню до форм русла в плані та характеристик його поздовжнього профілю.

На жаль, рівнянням (3.10) практично важко скористатися для розрахунків коефіцієнтів $K_{\text{зим}}$ та обчислити їх добові значення. Це пов'язано з тим, що один чинник – коефіцієнт шорсткості, не можна встановити на кожен добу через відсутність методів його вимірювання. Його можна обчислити тільки зворотним розрахунком з формули Шезі-Маннінга – за середньою в перерізі швидкістю течії, визначеною при вимірюванні витрати води. Тому в свій час С. Колупайло [5] запропонував визначати добові зимові коефіцієнти $K_{\text{зим}}$, знімаючи їх значення з інтерполяційної лінії, яка з'єднує точки на хронологічному графіку $K_{\text{зим}}$, що будується за даними вимірювань зимових витрат води (рис. 3.4).

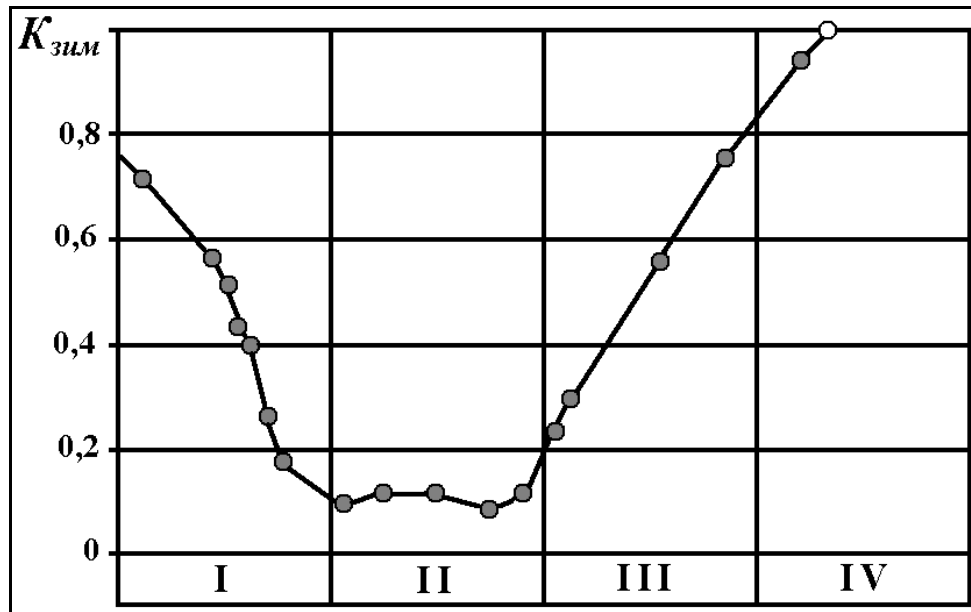


Рис. 3.4 – Графік перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$ на початку року

Встановлені таким чином коефіцієнти $K_{зим,j}$ на j -ту добу дозволяють, при відомій витраті води, визначеній для вільного русла $Q_{віль,j}$, що знята з кривої витрат для рівня H_j , j -ї доби, обчислити $Q_{зим,j}$ на цю ж добу:

$$Q_{зим,j} = Q_{віль,j} \cdot K_{зим,j} \quad (3.11)$$

Потрібно зазначити, що кінець (початок) графіка $K_{зим}$ для періодів з льодовими явищами відповідає значенню $K_{зим} = 1$. Вони припадають на дати, коли існує однозначна залежність витрат води від рівнів, тобто вільне русло. Уточнення хронологічного графіка $K_{зим}$, з невеликим числом вимірювань витрат при льодоставі, проводиться з урахуванням рекомендацій [3-12].

3.3 Обчислення стоку води при заростанні русла

Водяна рослинність зменшує площу живого перерізу і збільшує опір руху води. В порівнянні з не зарослим руслом при однакових рівнях проходять менші витрати. Найбільше утруднення руху води спостерігається в період повного розвитку рослин. У періоди початкового зростання і відмирання водяної рослинності її вплив на рух потоку позначається меншою мірою. Заростання річкових русел водяною рослинністю спостерігається в різних кліматичних зонах, яскравіше – на невеликих рівнинних річках в зоні помірного та більш теплого клімату.

При цьому гідравлічний зв'язок між витратами та рівнями води порушується – точки, які відповідають виміряним витратам і середнім швидкостям течії за наявності рослинності, розташовуються зліва від основних однозначних КВВ для вільного русла.

Обчислення стоку води в період заростання русла можна здійснити за допомогою кривих витрат при заростанні русла, якщо такі вдається встановити. Також, для деяких річок, застосовують інтерполяцію між вимірними витратами води в період заростання русла рослинністю. Основним способом обчислення стоку в даному випадку є застосування хронологічного графіка перехідних коефіцієнтів $K_{зар}$, що виражають відношення витрат в заростаючому руслі до витрат, визначених для умов вільного від рослинності русла, при тих же рівнях води. Коефіцієнт $K_{зар}$ в цьому випадку характеризує зменшення пропускної спроможності русла при його заростанні вищою водною рослинністю.

Значення коефіцієнта $K_{зар}$ обчислюються за відношенням витрати, вимірної при зарослому вищою водною рослинністю руслі, до витрати, визначеної за допомогою однозначної кривої витрат для вільного русла, при однаковому рівні води

$$K_{зар} = \frac{Q_{зар}}{Q_{віль}}, \quad (3.12)$$

де $Q_{зар}$ і $Q_{віль}$ – відповідно, витрати води виміряні при зарослому водною рослинністю руслі та визначені за допомогою КВВ для вільного русла, при однаковому рівні води.

Добові витрати при заростанні русла річки обчислюються з використанням інтерполяційного хронологічного графіка $K_{зар}$, подібного до хронологічного графіка перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$ (рис. 3.4).

При побудові хронологічного графіка перехідних коефіцієнтів $K_{зар}$ перше й останнє значення дорівнюватиме $K_{зар} = 1,00$, і співпадатиме з датами передостаннього та першого дня з вільним руслом перед і після періоду зарослого русла. Цими датами, як правило, вважаються дати весняного та осіннього переходу температури води в річці через 10 °С.

Корисно знати, що в методиках обчислення стоку води при зарослому водною рослинністю руслі та при льодових явищах (розрахунок виконується за допомогою хронологічних інтерполяційних графіків перехідних коефіцієнтів $K_{зар}$ та $K_{зим}$) є багато спільного, але причини зменшення пропускної спроможності русла є різними, тому й самі процеси стоку води мають неоднакову природу.

3.4 Обчислення стоку при нестійких руслах

Нестійкість або деформації русла властива головним чином річкам гірських і передгірських районів, режим яких характеризується паводками. Деформації русла можуть бути періодичними і безперервними.

Періодичні деформації пов'язані з проходженням найбільш високих паводків, в проміжках між якими русло порівняно стабільне.

Безперервні деформації, спостерігаються на деяких річках, відбуваються протягом всього річного циклу, змінюється лише їх інтенсивність.

Для обчислення стоку річок з нестійким руслом застосовуються такі способи:

- а) побудова системи тимчасових кривих;
- б) приведення кривої витрат до основного перерізу;
- в) спосіб Стаута;
- г) інтерполяція між вимірними витратами води.

3.4.1 Побудова системи тимчасових кривих витрат води

Побудову системи тимчасових кривих витрат води проводять у разі періодичних змін русла. Кожна крива витрат води відповідає певному стану русла (рис. 3.5). Окремі криві сполучають перехідними кривими, охоплюють періоди нестійкого стану русла при проходженні паводків.

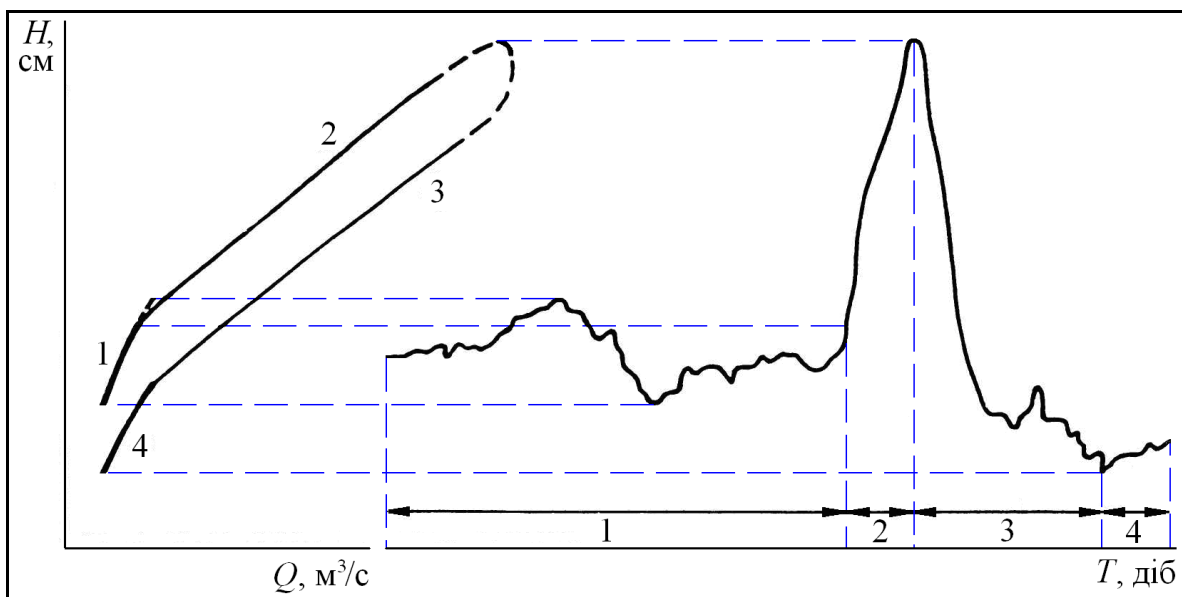


Рис. 3.5 – Схема побудови тимчасових кривих витрат при нестійкому руслі (пояснення до умовних позначень – 1, 2, 3, 4, представлені нижче в тексті)

Побудову системи тимчасових кривих проводять в такому порядку:

- виділяють хронологічно пов'язані групи точок виміряних витрат води, кожна з яких можна віднести до однієї тимчасової кривої;
- встановлюють терміни переходу з однієї кривої на іншу, а отже, і терміни дії кривих;
- проводять криві витрат (рис. 3.5).

Крива 1 відповідає стійкому стану русла до водопілля (паводка). При підйомі відбувався розмив русла. За даними виміряних в цей період витрат води проведена крива 2. При високих рівнях витрати не вимірювалися.

За даними про виміряні витрати на спаді проведена крива 3.

Обидві гілки (2 і 3) сполучені перехідною кривою, яка показана пунктиром (у цей період відбувався подальший розмив русла).

Після спаду залежність $Q = f(H)$ знову виражається однозначною кривою 4, але її положення інше, ніж кривої 1 – вона розташовується нижче, що пов'язано з розмивом русла.

3.4.2 Приведення кривої витрат води до основного перерізу

Приведення кривої витрат води до основного перерізу застосовується у разі, коли деформації русла носять характер лише вертикального зсуву без зміни ухилу водної поверхні (в цьому випадку можливо також застосування тимчасових кривих).

Для зручності застосування цього способу бажано мати дані промірів глибин в періоди між вимірюваннями витрат.

Профілі створу, отримані при вимірюванні витрат води та за даними промірів глибин, зіставляють між собою для вибору («на око») з них одного – середнього за глибинами, який беруть за основний і називають «основним перерізом» (рис. 3.6, а). При виборі основного перерізу необхідно враховувати, щоб середньодобові та виміряні рівні води не виявилися нижчими за найнижчу точку дна на профілі.

Для основного перерізу будують криву площ $w = f(H)$, на яку наносять точки площ як за даними вимірювань витрат води, так і за даними промірів глибин, що проводилися між вимірюваннями витрат (рис. 3.6, б). По проведеній кривій і нанесених точках визначають значення поправок ΔH для кожної з нанесених точок (рис. 3.6, б).

Потім будують хронологічний графік поправок, який називають «кривою поправок рівня на деформацію водного перерізу» (рис. 3.6, в). Поправки на графіку відкладають у бік, протилежний відхиленню відповідних точок від кривої площ основного перерізу.

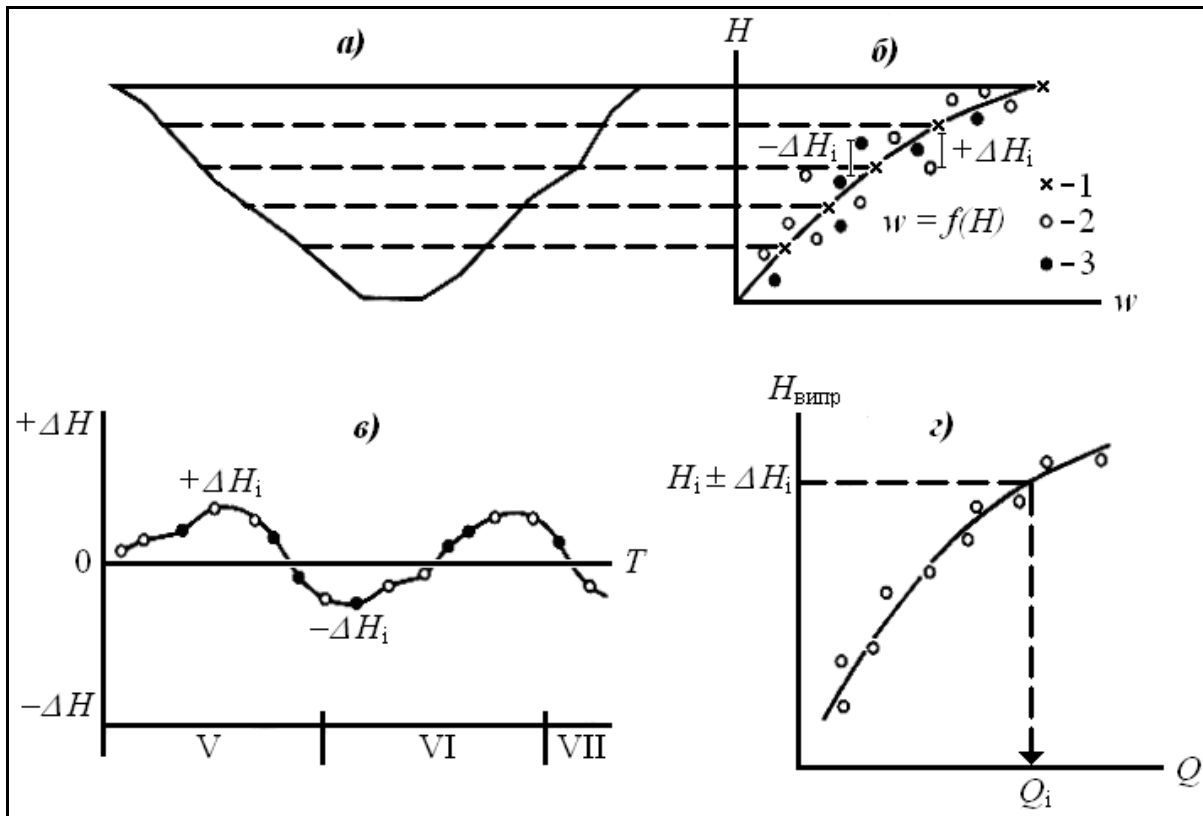


Рис. 3.6 – Схема приведення кривої витрат до основного перерізу:
 а) – профіль основного перерізу; б) – крива площ основного перерізу
 (1 – площі, обчислені за профілем основного перерізу; 2 – площі, визначені при вимірюваннях витрат води; 3 – площі, отримані з промірів); в) – крива поправок; г) – крива витрат з виправленими рівнями (приведена крива)

Після цього для кожної вимірної витрати по кривій поправок визначають виправлений рівень $H_{\text{випр.}} = H + \Delta H$.

Остаточно криву витрат води будують за даними вимірних витрат води і виправлених рівнях води $Q = f(H_{\text{випр.}})$, яку називають «приведеною кривою витрат води» (рис. 3.6, г).

Щоденні витрати визначають по виправлених середньодобових рівнях води і приведеній кривій витрат $Q = f(H_{\text{випр.}})$.

3.4.3 Обчислення стоку води способом Стаута

Обчислення стоку води способом Стаута застосовується, коли деформації русла пов'язані з частим чергуванням паводків і відбуваються безперервно, що ускладнює побудову тимчасових кривих витрат води.

Для обчислення щоденних витрат води способом Стаута роблять такі побудови (рис. 3.7):

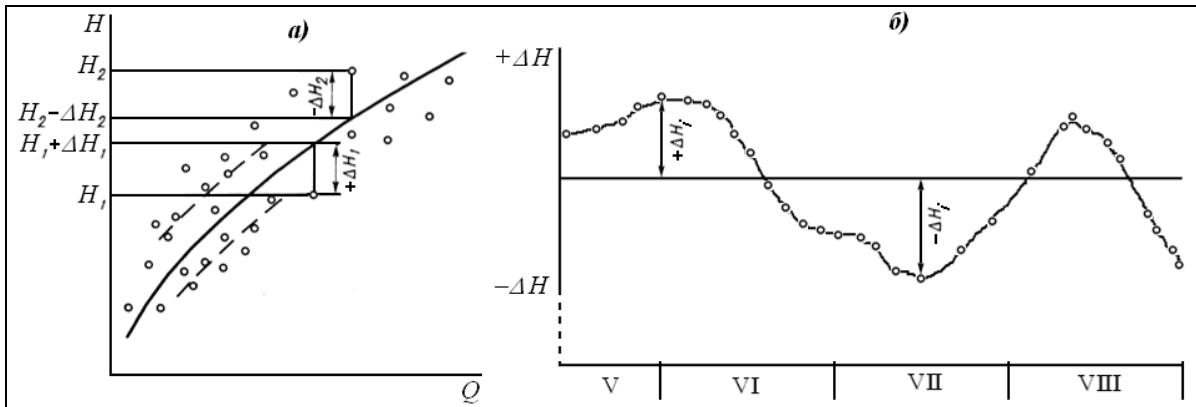


Рис. 3.7 – Стандартна крива витрат води (а) та графік поправок Стаута (б)

– на графік в координатній системі (Q, H) наносять точки вимірних витрат води (рис. 3.7 а);

– по нанесеному полю точок проводять осереднену криву, яку називають «стандартною кривою», напрямок якої визначається шляхом побудови двох-трьох тимчасових хронологічних кривих $Q = f(H)$ (висотне положення стандартної кривої особливого значення не має, тому що вона проводиться по середині поля точок);

– визначають відхилення точок вимірних витрат води від стандартної кривої по ординаті (поправки Стаута) ΔH (відхилення вгору вважаються від’ємними значеннями, а вниз – додатними);

– будують хронологічний графік поправок Стаута $\pm \Delta H$ (рис. 3.7 б).

Щоденні витрати визначають за стандартною кривою з використанням середньодобового рівня води $H_{\text{випр.}}$, виправленого на величину поправки Стаута $\pm \Delta H$ для даного дня року, що визначається з хронологічного графіка (рис. 3.7 б).

3.4.4 Інтерполяція між вимірними витратами води

Даний спосіб обчислення щоденних витрат води використовують у випадках безперервної й інтенсивної деформації русла річки на ділянці гідрологічного поста та при достатній кількості вимірювань витрат води. Це дозволяє побудувати хронологічний графік мінливості витрат води в продовж року $Q = f(T)$ або комплексний графік гідрометеорологічних показників, при кресленні яких можуть бути враховані всі характерні зміни витрат води, пов’язані з деформаціями русла річки.

3.5 Основні методи обчислення стоку при змінному підпорі

При обчисленні стоку води в умовах змінного підпору перш за все необхідно визначити його величину та причини, що призвели до виникнення даного явища.

Для визначення стоку в умовах змінного підпору важливе значення мають надійні дані про ухили водної поверхні (I). У випадках обчислення щоденних витрат води необхідні дані про щоденні ухили.

Основними методами обчислення стоку води в умовах змінного підпору є такі:

- інтерполяція між вимірними витратами води;
- побудова кривих нестійкого зв'язку між витратами і рівнями води;
- зрізка підпорних рівнів води;
- обчислення витрат води за допомогою кривих витрат для різних ухилів водної поверхні;
- побудова кривої зв'язку між витратами води та ухилами водної поверхні.

3.5.1 Інтерполяція між вимірними витратами води при безперервній деформації русла

Цей спосіб обчислення щоденних витрат води використовують в умовах безперервної та інтенсивної деформації русла при достатній кількості вимірювань витрат води, яка дозволяє висвітлити на хронологічному графіку характерні зміни витрат води, зумовлені як гідрометеорологічними показниками, так і деформаціями русла.

3.5.2 Зрізка підпорних рівнів води для обчислення стоку при короткостроковому змінному підпорі

Спосіб зрізки підпорних рівнів води для обчислення стоку використовується у випадках короткострокових змінних підпорів, зумовлених значними підйомами рівнів води (рис. 3.8), при незначних змінах витрат води.

Це може спостерігатися при нагонах або підпорах, що спричинюються сильним вітром, спрямованим проти течії річки, при заторах в періоди лісосплаву чи льодоходу та в інших випадках.

Для обчислення витрат води необхідно фактичні, виміряні в період підпору $T_{\text{підп}}$, рівні води замінити на фіктивні «зрізані» рівні $H_{\text{зріз}}$ (рис. 3.8).

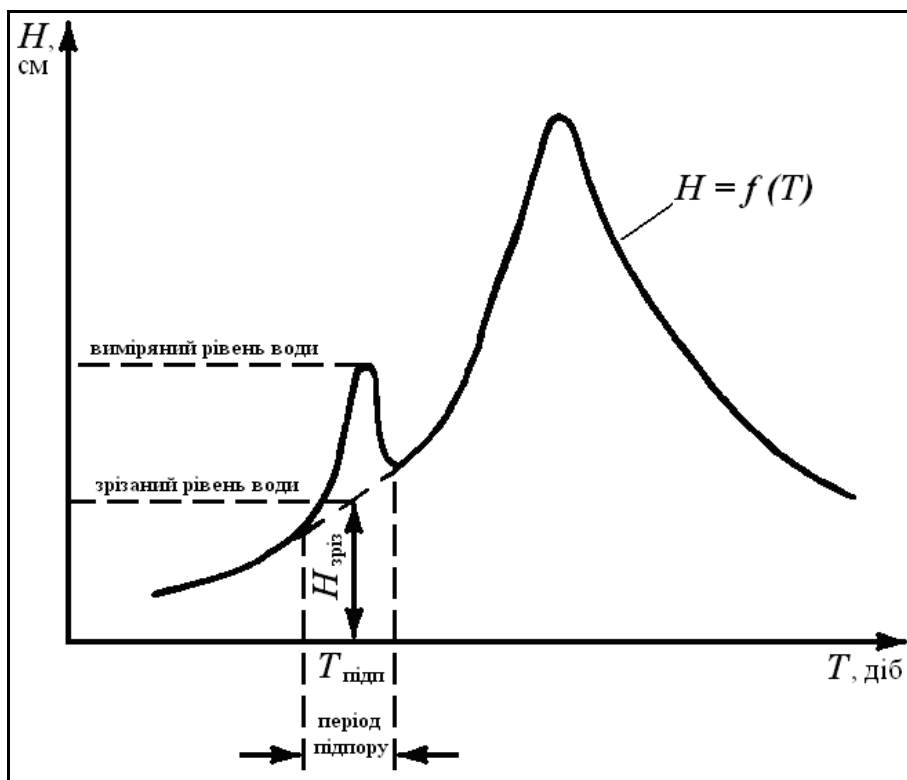


Рис. 3.8 – Схема зрізки підпорних рівнів води

Визначення щоденних витрат води виконують з використанням «зрізаних» рівнів води та кривої зв'язку витрат і рівнів води, встановленої для періоду вільного русла без змінного підпору.

3.5.3 Обчислення витрат води за допомогою кривих витрат для різних ухилів водної поверхні

Цей спосіб використовують при надійно вимірних ухилах водної поверхні. Значення вимірних витрат води наносять на графік $Q = f(H, I)$ та поблизу кожної точки проставляють значення виміряного ухилу водної поверхні (рис. 3.9).

В полі точок вимірних витрат проводять криві витрат води, які відповідають певним значенням ухилів. Ці криві проводять через рівні інтервали в залежності від амплітуди коливання ухилів водної поверхні. Над кожною з проведених кривих вказують значення ухилу води, якому відповідає крива.

Щоденні витрати води обчислюють за даними про щоденні рівні води та ухили водної поверхні шляхом інтерполяції значення витрати води між двома суміжними кривими.

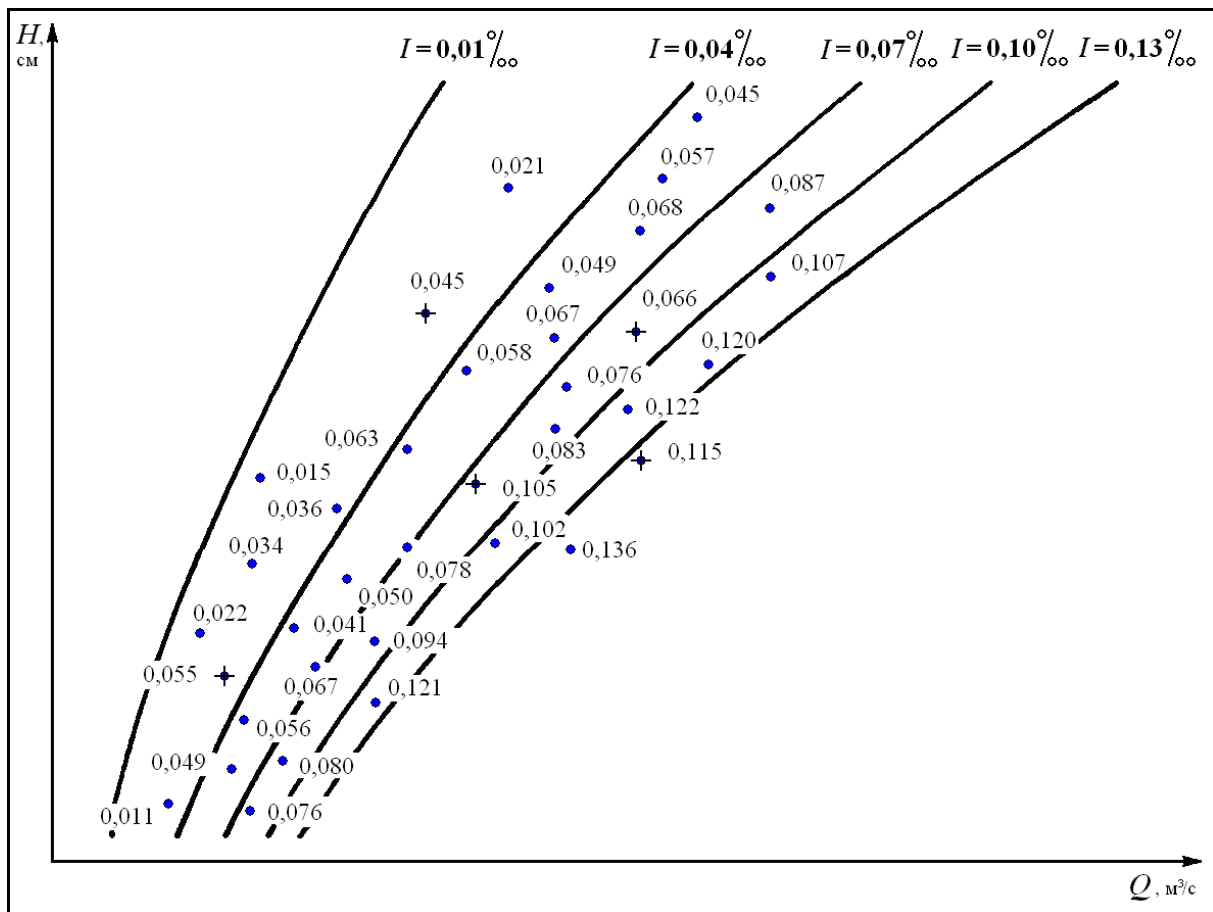


Рис. 3.9 – Сімейство кривих витрат для різних ухилів водної поверхні:
 + – точки витрат, що випадають з відповідного інтервалу ухилів

3.5.4 Побудова кривої зв'язку між витратами води та ухилами водної поверхні

На річках зі змінним підпором, у тому числі, спричиненим дією вітру, режим рівнів води та стоку в руслі річки залежать не тільки від витрат, але й від ухилів води: $Q = f(H, I)$ або $Q = f(I)$, при $I = f(H)$. Такі умови зазвичай спостерігаються на водомірних постах, що знаходяться в гирлових ділянках річок, наприклад, на гідрологічних постах в с. Троїцьке, с. Паланка та с. Маяки в гирловій ділянці р. Дністер (рис. 3.10).

Витрати води вимірюються лише на посту в с. Маяки, але на цьому посту однозначна залежність між витратами та рівнями води $Q = f(H)$ відсутня (рис. 3.11), що пов'язано з впливом вітру. Врахувати вплив вітру на режим стоку води можна за допомогою зв'язку рівнів води з ухилами водної поверхні $I = f(H)$. Приклад такого зв'язку на ділянці р. Дністер між с. Троїцьке та с. Маяки показаний на рис. 3.12.

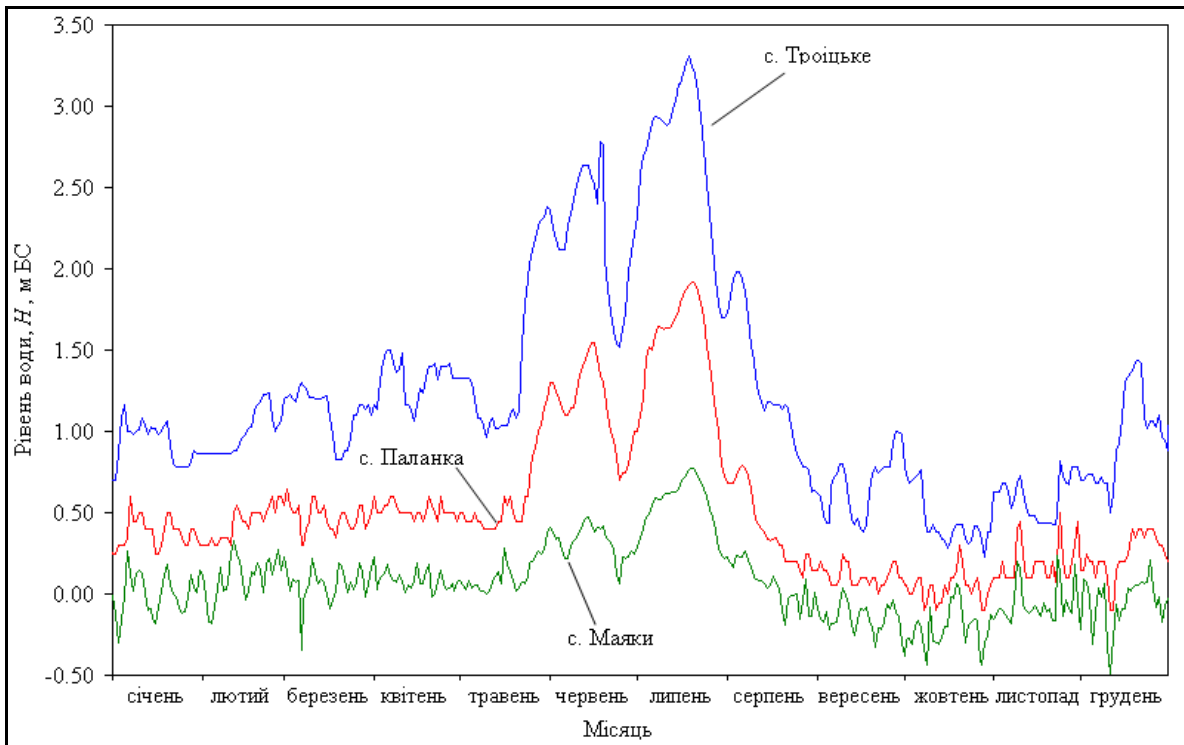


Рис. 3.10 – Щоденні рівнів води в гирловій ділянці р. Дністер за 2010 р.

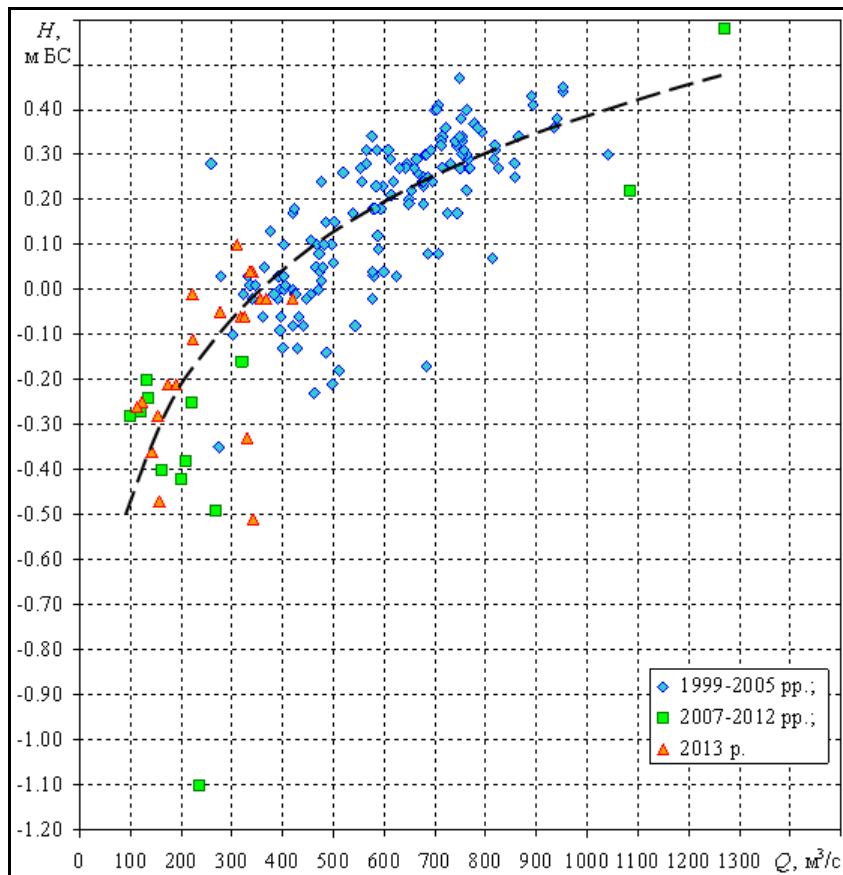


Рис. 3.11 – Зв'язок витрат та рівнів води $Q=f(H)$ при вільному руслі на р. Дністер в с. Маяки, без врахування впливу вітру

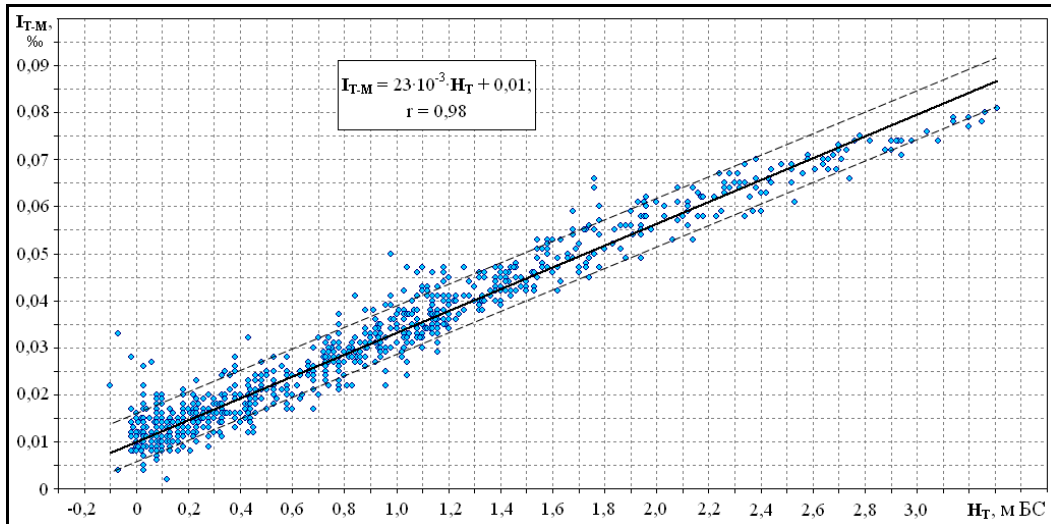


Рис. 3.12 – Зв’язок рівнів води з ухилами водної поверхні $I = f(H)$ на ділянці р. Дністер між с. Троїцьке та с. Маяки за період з 2009 по 2013 рр.:

I_{T-M} – ухил водної поверхні між с. Троїцьке та с. Маяки;

H_T – рівень води на посту в с. Троїцьке

При встановленні зв’язку рівнів з ухилами води $I = f(H)$ за даними двох суміжних постів необхідно враховувати, що точність вимірювання рівнів води на водомірних постах становить 1 см, тому для визначення ухилу водної поверхні можуть використовуватись лише дані постів, відстань між якими є не менше 20 км, для визначення ухилу з точністю до 0,001 ‰.

Далі будується зв’язок витрат та ухилів води (рис. 3.13). Щоденні витрати води обчислюють за даними про щоденні рівні та ухили води.

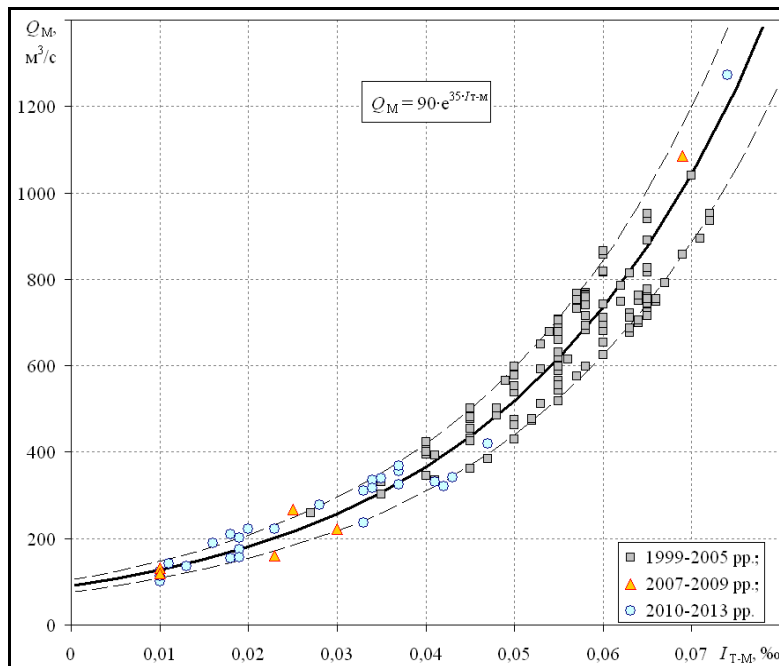


Рис. 3.13 – Крива витрат води р. Дністер в районі с. Маяки $Q_M = f(I_{T-M})$

**Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу
розділу 3**

1. В яких умовах спостерігається несталий рух води в руслах річок?
2. Який вигляд має поздовжній профіль водної поверхні в руслі річки в умовах несталого руху води під час водопіль і паводків?
3. Який вигляд має крива витрат в умовах несталого руху води в руслі річки в періоди водопіль і паводків?
4. Який вигляд мають криві зимових витрат води?
5. З чим пов'язано зменшення зимових витрат в порівнянні з витратами при вільному руслі для одних і тих же рівнів води?
6. Охарактеризуйте спосіб обчислення щоденних витрат води з використанням зимових перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$.
7. Охарактеризуйте спосіб обчислення щоденних витрат води з використанням перехідних коефіцієнтів $K_{зар}$ при заростанні русла.
8. Що таке нестійкість русла та які способи використовують для обчислення стоку річок з нестійкими руслами?
9. Охарактеризуйте спосіб обчислення щоденних витрат води за допомогою побудови системи тимчасових кривих.
10. Охарактеризуйте спосіб обчислення щоденних витрат води за допомогою приведення кривої витрат води до основного перерізу.
11. Як виконується обчислення стоку води способом Стаута?
12. Що таке змінний підпор та які методи використовують для обчислення стоку води в умовах змінного підпору?
13. Охарактеризуйте спосіб обчислення щоденних витрат води за допомогою зрізки підпорних рівнів води.
14. Охарактеризуйте спосіб обчислення щоденних витрат води за допомогою кривих витрат для різних ухилів водної поверхні.
15. Охарактеризуйте спосіб обчислення щоденних витрат води за допомогою побудови кривої зв'язку між витратами та ухилами води.
16. В яких випадках для обчислення щоденних витрат води застосовують метод інтерполяції між вимірними витратами води?

4 ЕКСТРАПОЛЯЦІЯ КРИВОЇ ВИТРАТ ДО ЕКСТРЕМАЛЬНИХ РІВНІВ ВОДИ

При перерахунку середньодобових рівнів води у витрати необхідно мати обґрунтовану вимірюваннями криву витрат, побудовану для всього діапазону коливання рівня води за рік – від мінімального в році до максимального.

Однак, на практиці не завжди вдається зафіксувати екстремальні витрати води. Тому необхідно вдаватися до екстраполяції кривих витрат води за межі їх вимірних значень. Найчастіше доводиться екстраполювати криву витрат вгору, рідше – у бік нижчого рівня.

Більшість способів екстраполяції кривих витрат заснована на використанні операції графічної екстраполяції витрат до вищих рівнів або екстраполяцією гідравліко-морфологічних показників русла, що складають формулу Шезі (C , I та інші). Ці методи успішно реалізовані для рівнів в межах головного русла, де тип руху вода близький до рівномірного.

Графічна екстраполяція «за тенденцією» кривої витрат до екстремальних (найвищих і найнижчих) рівнів води є суб'єктивною і застосовується тільки на діапазон рівнів, що не перевищує 5-10 % від річної амплітуди їх коливання (рис. 4.1).

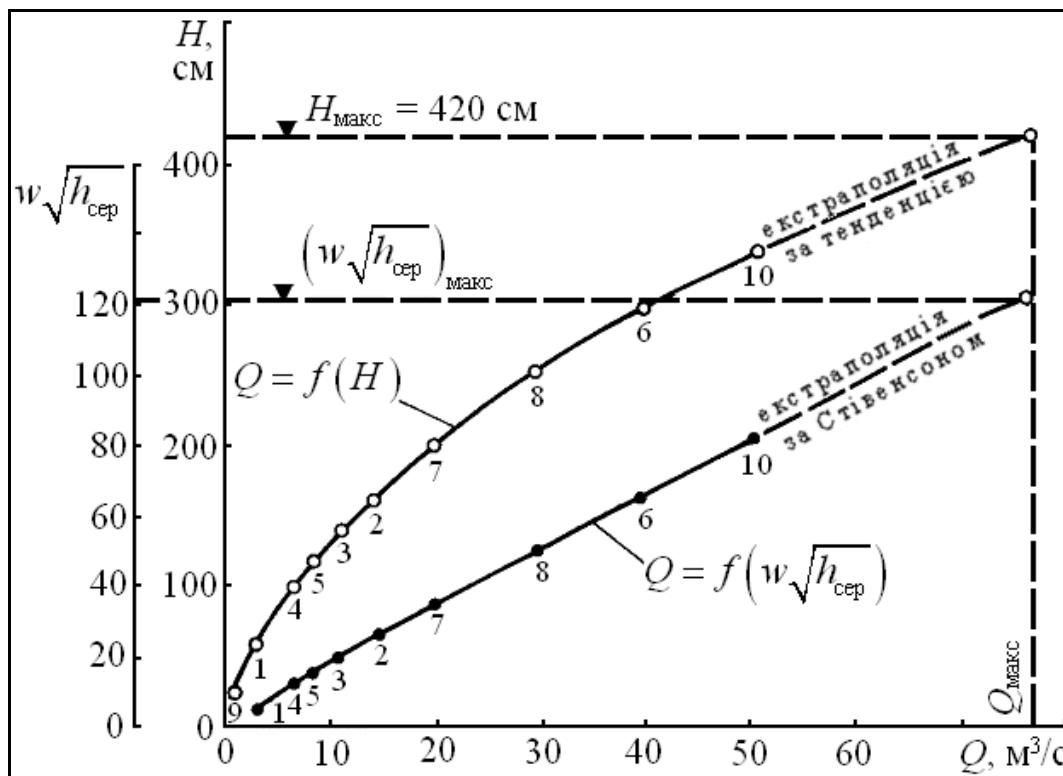


Рис. 4.1 – Екстраполяція КВВ за тенденцією та за способом Дж. Стівенсона

Більш об'єктивну та точну екстраполяцію кривої витрат води до найвищих і найнижчих рівнів можна виконати за допомогою гідравлічних формул, які засновані на екстраполяції гідравліко-морфологічних характеристик річки, а саме: екстраполяція способом Дж. Стівенсона; екстраполяція за формулою І.Ф. Карасьова; екстраполяція способом введення поправки в формулу Шезі.

Екстраполяція способом Дж. Стівенсона використовується для річок при умовах, що середня глибина в періоди водопіль і паводків є не меншою ніж 3,5-4,0 м, а рух води є наближеним до рівномірного. В таких умовах може застосовуватись формула Шезі

$$Q = F \cdot V = F \cdot C \cdot \sqrt{h \cdot I}. \quad (4.1)$$

За результатами вимірювань витрат води встановлено, що величина $C \cdot \sqrt{I}$ майже не залежить від витрати води Q , тобто $C \cdot \sqrt{I} \approx const$.

Враховуючи це, можна вважати, що витрата води є функцією виразу

$$Q = f(F \cdot \sqrt{h}). \quad (4.2)$$

На графіку залежність (4.2) має вигляд кривої, верхня частина якої має вигляд прямої лінії (рис. 4.1), що значно уточнює екстраполяцію.

Екстраполяція за формулою І.Ф. Карасьова заснована на використанні зв'язку виміряних витрат води Q та відповідних їм площ живого перерізу F при різних рівнях води в руслі річки, яка отримана шляхом інтегрування рівняння несталоного руху води:

$$Q = Q_0 \cdot (F / F_0)^m, \quad (4.3)$$

де Q_0 і F_0 – відповідно витрата води і площа живого перерізу для рівня, забезпеченого даними вимірювань у верхній частині кривої витрат;
 m – показник ступеня, величина якого залежить від форми русла.

Екстраполяція кривої витрат води до найвищих рівнів води виконується в 2 етапи: 1) за наявними виміряними витратами води встановлюються опорні значення параметрів рівняння зв'язку витрат з рівнями для відрізка кривої, що передуює зоні екстраполяції; 2) розрахунок екстрапольованої витрати для найвищого рівня води.

Перший етап екстраполяції виконується з використанням формули І.Ф. Карасьова (4.3), з якої розрахунком обчислюється параметр m за даними Q і F двох суміжних вимірювань витрат води при високих рівнях, що передують зоні екстраполяції.

Після логарифмування і перетворення формули (4.3) одержуємо такий вираз для m :

$$m_i = (\ln Q_i - \ln Q_{i-1}) / (\ln F_i - \ln F_{i-1}), \quad (4.4)$$

де m_i – характеристика форми руху потоку (індекс « i » відповідає вимірній витраті води, розташованій на найвищому кінці кривої витрат, а « $i-1$ » – відноситься до іншої витрати, розташованої по рівню нижче першого).

Бажано, щоб обидві вибрані вимірні витрати розташовувалися як можна ближче до кривої витрат, оскільки різносторонні відхилення цих витрат від кривої за рахунок помилки вимірювань можуть призвести до помилки при обчисленні параметра m за формулою (4.4), а частина кривої, що екстраполюється вгору, одержить неправильний напрям.

Значення цієї помилки можна зменшити, якщо вибрати різницю витрат ($Q_i - Q_{i-1}$) досить значущою – вона повинна принаймні в 2 рази перевищувати за абсолютним значенням (за модулем) похибку вимірювання витрат води.

При автоматизованому обчисленні параметрів рівняння кривої витрат за допомогою програм на ПК вибір достатньої за рівнем води відстані між i -ю та $i-1$ -ю витратами втрачає актуальність, оскільки при такому розрахунку в формулу (4.4) для параметра m вводять не вимірні дані F та Q , а обчислені за апроксимованим рівнянням.

Підсумком першого етапу екстраполяції є визначення параметра m .

На другому етапі екстраполяції параметр m_i береться для розрахунку екстрапольованої витрати з формули (4.4), тільки в цьому випадку в якості $i-1$ -х витрати та площі перерізу виступають Q та F , визначені за даними вимірювань при найвищому рівні, а місце i -х значень займають витрата та площа для рівня екстраполяції Q_e та F_e , тобто:

$$Q_e = Q_i \cdot (F_e / F_i)^{m_i}. \quad (4.5)$$

Екстраполяція способом введення поправки в формулу Шезі пов'язана з введенням поправки до коефіцієнта шорсткості n в формулі Маннінга для коефіцієнта Шезі C .

В цьому методі формула для коефіцієнта Шезі C набуває вигляду:

$$C = (1 + 0,042 \cdot h^{1/3} / g \cdot b_0 \cdot n_0^2)^{-0,5} \cdot h^{1/6} / n_0, \quad (4.6)$$

де h – середня глибина потоку в перерізі;

n_0 – коефіцієнт шорсткості;

g – прискорення сили тяжіння;

b_0 – відносна ширина русла, що дорівнює

$$b_0 = B/h, \quad (4.7)$$

де B – ширина русла по поверхні води.

Формула (4.6) справедлива для широких русел, при $B > 30$ м.

З формули для коефіцієнта Шезі (4.6) можна виділити коефіцієнт шорсткості русла n_0 для вимірної при найвищому рівні i -ї витрати води:

$$n_{0,i} = h_i^{1/6} \cdot (I/C_i^2 - 0,042 h_i^{1/3} / g \cdot b_0)^{1/2}. \quad (4.8)$$

В формулі (4.8) коефіцієнт Шезі C обчислюється з формули Шезі за даними i -ї витрати:

$$C_i = Q_i / [F_i \cdot (h_i \cdot I)^{0,5}]. \quad (4.9)$$

Значення екстрапольованої витрати Q_e обчислюється за формулою Шезі з урахуванням екстрапольованих значень F_e , h_e та b_e , а також коефіцієнта шорсткості $n_{0,i}$, визначеного за формулою (4.8):

$$Q_e = [(1 + 0,042 \cdot h_e^{1/3} / (g \cdot n_{0,i}^2 \cdot b_e)]^{-0,5} \cdot [h_e^{1/6} \cdot F_e \cdot (h_e \cdot I)^{0,5}] / n_{0,i}. \quad (4.9)$$

У формулі (4.9) вираз в квадратних дужках є поправкою до коефіцієнта шорсткості $n_{0,i}$, яка приводить його до умов течії води в діапазоні екстраполяції кривої витрат.

Екстраполяція кривої витрат вниз до мінімальних рівнів за допомогою графічної екстраполяції «за тенденцією» або з використанням представлених вище гідравлічних формул і залежностей є порівняно простою задачею.

Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 4

1. В яких випадках застосовується екстраполяція кривої витрат до екстремальних рівнів води та які способи для цього використовуються?
2. В яких випадках для екстраполяції кривої витрат води застосовується графічна екстраполяція «за тенденцією» та які способи екстраполяції засновані на використанні гідравлічних формул?
3. Поясніть екстраполяцію кривої витрат способом Дж. Стівенсона.
4. Поясніть екстраполяцію кривої витрат за формулою І.Ф. Карасьова.
5. Охарактеризуйте екстраполяцію кривої витрат способом введення поправки в формулу Шезі.

5 ОБЧИСЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКУ ТА ФОРМУВАННЯ ТАБЛИЦІ ВИТРАТ ВОДИ

До основних характеристик стоку води, які обчислюються при складанні таблиці «Витрата води», належать:

- середньорічна \bar{Q}_p та середньомісячні \bar{Q}_j витрати води в м³/с;
- об'єм стоку W в км³ або млн. м³;
- модуль стоку M в л/(с·км²) або q_p в м³/(с·км²);
- шар стоку H або Y в мм.

Середньорічна витрата води \bar{Q}_p в м³/с обчислюється за виразом:

$$\bar{Q}_p = \sum_{i=1}^n Q_i / n, \quad (5.1)$$

де Q_i – середньодобові витрати води для всіх днів року в м³/с;
 n – кількість днів в році (365 або 366).

Середньомісячні витрати води \bar{Q}_j обчислюється за виразом:

$$\bar{Q}_j = \sum_{i=1}^n Q_i / n, \quad (5.2)$$

де Q_i – середньодобові витрати води для всіх днів місяця в м³/с;
 n – кількість днів в місяці (28, 29, 30 або 31).

Середню витрату води також можна визначити за декаду або сезон року та багаторічний період.

Об'єм стоку за рік W_p в км³ або млн. м³ – кількість води, що надходить з водозбору за рік (також можна визначити за добу, декаду, місяць, сезон і т. д.). Об'єм стоку за рік обчислюється за формулою:

$$W_p = \bar{Q}_p \cdot T_p, \quad (5.3)$$

де T_p – кількість секунд в році в с (31536000 або 31622400 с).
Кількість секунд в році T_p обчислюється за виразом:

$$T_p = 86400 \cdot n, \quad (5.4)$$

де n – кількість днів в році (365 або 366).

Об'єм стоку за місяць W_j обчислюється за формулою:

$$W_j = \bar{Q}_j \cdot T_j, \quad (5.5)$$

де T_j – кількість секунд в місяці в с.

Кількість секунд в місяці T_j обчислюється за виразом:

$$T_j = 86400 \cdot n, \quad (5.6)$$

де n – кількість діб в місяці (28, 29, 30 або 31).

Модуль стоку за рік M_p в л/(с·км²) або q_p в м³/(с·км²) – кількість води (1 л), що надходить з одиниці площі водозбору (з 1 м²) за одиницю часу (за 1 с). Також можна визначити модуль стоку за добу, декаду, місяць, сезон і т. д. Модуль стоку за рік визначається за формулою:

$$M_p = \bar{Q}_p \cdot 10^3 / F \quad (5.7)$$

або

$$q_p = \bar{Q}_p / F, \quad (5.8)$$

де F – площа водозбору в км²; 10^3 – перевідний коефіцієнт з м³ в л.

Модуль стоку за місяць M_j або q_j визначається за формулою:

$$M_j = \bar{Q}_j \cdot 10^3 / F \quad (5.9)$$

або

$$q_j = \bar{Q}_j / F. \quad (5.10)$$

Шар стоку за рік H або Y в мм – кількість води, що надходить з водозбору за рік, яка дорівнює товщині шару, рівномірно розподіленого по площі водозбору (також можна визначити за місяць, водопілля, паводок, сезон і т. д.). Шар стоку за рік обчислюється за формулою:

$$H_p = Y_p = W_p / (F \cdot 10^3), \quad (5.11)$$

де 10^3 – коефіцієнт розмірності.

Шар стоку за місяць обчислюється за формулою:

$$H_j = Y_j = W_j / (F \cdot 10^3). \quad (5.12)$$

Шар стоку за будь-який період часу обчислюється за формулою:

$$H = Y = 86,4 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{F}, \quad (5.13)$$

де n – кількість діб в періоді часу; 86,4 – перевідний коефіцієнт.

Таблиця «Витрата води» складається за формою ТГ-2 (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Витрата води, м³/с,
р. Ветьма – с. Круча, 2005 р.

$$Q = 9,47 \text{ м}^3/\text{с}; W = 0,299 \text{ км}^3; Y = 277 \text{ мм}; M = 8,78 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2); F = 1078 \text{ км}^2$$

Дата	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	12,0	6,74	4,91	22,85	14,2	7,24	9,64	7,24	9,78	7,51	7,24	9,64
2	10,2	7,36	4,53	4,67	13,4	7,79	8,34	7,38	10,1	6,85	7,79	8,34
3	6,65	6,51	4,52	4,54	12,6	8,62	7,65	8,34	7,38	6,71	8,62	7,65
4	6,06	6,22	4,52	4,53	12,1	9,20	7,65	8,91	6,71	6,71	9,20	7,65
5	6,26	6,11	4,52	4,53	11,2	10,4	8,06	9,20	6,45	6,71	10,4	8,06
6	6,26	6,16	4,76	4,76	10,5	11,9	9,78	9,64	6,45	6,33	11,9	9,78
7	6,26	5,88	4,89	4,89	10,1	11,0	10,1	8,34	6,45	6,20	11,0	10,1
8	5,33	5,61	5,03	5,03	9,49	11,9	11,2	7,79	6,33	6,20	11,9	11,2
9	5,79	5,89	5,22	5,22	9,20	11,0	12,9	9,20	6,45	6,58	11,0	12,9
10	6,07	6,01	5,28	5,28	8,91	9,93	13,4	8,06	6,98	6,45	9,93	13,4
11	6,36	5,58	5,27	5,27	8,91	10,7	12,9	7,51	6,98	6,33	10,7	12,9
12	6,16	5,24	5,13	5,13	8,48	9,20	10,4	8,20	7,11	6,20	9,20	10,4
13	5,98	5,46	5,13	5,13	8,06	8,91	9,49	9,05	7,24	6,33	8,91	9,49
14	6,53	5,94	5,13	5,13	7,92	8,91	9,49	8,62	6,98	6,98	8,91	9,49
15	6,82	6,18	5,18	35,3	7,79	10,4	9,93	8,06	6,98	7,51	10,4	9,93
16	6,71	6,19	5,25	54,2	7,51	14,6	13,9	7,92	7,24	8,20	14,6	13,9
17	6,43	5,68	5,39	66,1	7,38	11,9	14,6	7,51	8,62	8,34	11,9	14,6
18	6,32	5,27	5,54	70,8	7,11	10,5	12,4	7,11	7,38	6,98	10,5	12,4
19	6,41	5,56	5,81	72,9	8,06	8,62	9,64	7,11	6,71	6,85	8,62	9,64
20	6,76	5,28	6,03	65,7	8,34	8,48	8,62	9,05	6,71	6,85	8,48	8,62
21	7,42	5,09	6,41	50,9	9,93	8,91	7,92	8,62	7,24	9,20	8,91	7,92
22	7,87	4,78	6,49	39,7	8,91	8,91	7,79	6,98	6,58	6,71	8,91	7,79
23	7,78	4,90	6,26	30,9	7,92	8,91	8,91	7,24	6,98	6,33	8,91	8,91
24	7,36	4,66	6,18	25,1	7,24	8,62	8,62	7,79	6,85	6,20	8,62	8,62
25	7,17	4,66	10,5	21,5	7,24	8,34	7,79	7,11	6,58	6,07	8,34	7,79
26	6,99	4,78	13,7	18,6	7,11	9,78	7,24	7,11	6,58	6,45	9,78	7,24
27	5,83	4,84	19,8	17,5	7,11	9,78	8,20	7,24	6,58	6,20	9,78	8,20
28	5,49	4,78	18,3	16,7	8,62	8,20	8,62	6,71	6,45	7,65	8,20	8,62
29	5,49		18,3	15,6	10,2	7,79	7,51	7,51	6,98	11,6	7,79	7,51
30	5,58		21,5	15,1	9,05	8,34	6,98	7,51	10,5	8,34	8,34	6,98
31	6,20		22,5		7,24		7,24	7,51		6,58		7,24
Сер. за міс.	6,73	5,62	8,13	23,4	9,09	9,63	9,58	7,92	7,21	7,04	9,63	9,58
Найб.	12,0	7,36	22,5	72,9	14,2	14,6	14,6	9,64	10,5	11,6	14,6	14,6
Найм.	5,33	4,66	4,52	4,52	7,11	7,24	6,98	6,71	6,33	6,07	7,24	6,98
Найбільша: 72,9 м ³ /с, 19.04. Найменша: 4,52 м ³ /с, 03-05.03.												

**Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу
розділу 5**

1. Які характеристики стоку води обчислюються при складанні таблиці «Витрата води»?
2. Як розраховується середньорічна витрата води?
3. Як розраховується середньомісячна витрата води?
4. Що таке об'єм стоку води?
5. Як розраховується об'єм стоку води за рік?
6. Як розраховується об'єм стоку води за місяць?
7. Що таке модуль стоку води?
8. Як розраховується модуль стоку води за рік?
9. Як розраховується модуль стоку води за місяць?
10. Що таке шар стоку води?
11. Як розраховується шар стоку води за рік?
12. Як розраховується шар стоку води за місяць?
13. Як розраховується шар стоку води за будь-який період часу?
14. Що входить до складу таблиці «Витрати води»?

6 АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКУ ТА ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ ВОДИ

З метою підвищення оперативності та якості забезпечення господарських організацій даними водного кадастру з 1975 року в нашій країні діє Автоматизована інформаційна система (АІС) Державного обліку вод (ДОВ) та ведення Державного водного кадастру (ДВК).

6.1 Автоматизація обліку стоку води

АІС заснована на застосуванні сучасних технічних засобів збору, контролю, зберігання, обробки та узагальнення даних ДОВ, доведення наявних даних, а також результатів їх обробки та узагальнень, до споживачів за їх запитом або в формі публікації ДВК.

Організаційно структура АІС ДВК включає три рівня: 1) пункти збору, контролю та первинної обробки інформації; 2) регіональні центри обробки даних; 3) головний центр ДВК.

Підготовка інформації виконується на першому та другому рівнях і частково на третьому, а ведення інформаційної бази – на другому і третьому. Основою АІС ДОВ є фонд даних, який щорічно оновлюється на технічних носіях за весь період спостережень і банк даних на персональному комп'ютері (ПК).

У пунктах збору інформації впроваджується автоматизоване обладнання для спостережень і вимірювань гідрологічних показників. Необхідність заміни вимірювань, що виконуються людиною, на вимірювання автоматичними приладами пов'язане із зростанням обсягу інформації та підвищенням вимог до точності й оперативності спостережень.

Автоматизація вимірювань повинна доповнюватися автоматизацією інших стадій процесу збору гідрологічних даних. Для цього в комплекс наявних технічних засобів крім перетворювачів вимірюваних гідрологічних елементів необхідно ввести автоматичний засіб реєстрації та передачі даних в центри прийому й обробки інформації. Внаслідок контролю інформації в регіональному центрі обробки допущені помилки аналізуються фахівцями та виправляються. Після проведення контролю дані гідрологічних спостережень обробляються за алгоритмами, рекомендованими відповідними нормативними документами. Далі складаються таблиці гідрологічних даних про режим і ресурси поверхневих вод суші, які щорічно публікуються в складі видань ДВК.

6.2 Автоматизація обчислення стоку води

Застосування комп'ютерних технологій для побудови графічних і табличних матеріалів на багато порядків зменшує трудомісткість проміжних і кінцевих результатів розрахунків, а висока точність машинної арифметики майже повністю позбавляє від необхідності багаторазових «ручних» перевірок, збільшуючи якість вихідних матеріалів.

Це дозволяє фахівцеві-гідрологу більш ефективно застосовувати свої професійні навички аналізу і обліку особливостей гідрофізичних умов течії води в річках для більш точного встановлення меж критичних періодів режиму річки, оперативно оцінювати різні варіанти математичного опису ходу гідрологічних процесів. В зв'язку з тим, що побудова кривої витрат є процесом пов'язаним з трудомісткими і багаторазовими «ручними» перевітками графічного та розрахункового матеріалу, в 1995 р. в Державній гідрометеорологічній службі України було введено в дію автоматизовану програмну систему «КАДАСТР» – робоче місце інженера-гідролога, розроблену в Одеському гідрометеорологічному інституті (нині – Одеський державний екологічний університет) проф. О.Г. Іваненко.

Програмна система «КАДАСТР» включала в себе ряд програм, які дозволяли провести повний цикл розрахунків щоденних витрат двома способами – способом інтерполяції перехідних коефіцієнтів та з урахуванням кривої витрат води для періоду вільного русла.

На жаль, в зв'язку з тим, що дана програма може використовуватись лише на ПК в режимі DOS, в останні роки вона не застосовується.

При автоматизованому обчисленні добового стоку криву витрат води необхідно виразити аналітичним рівнянням, параметри якого повинні обчислюватись за допомогою програм на ПК.

В гідрометрії застосовуються два типи аналітичних рівнянь кривої витрат води $Q = f(H)$ – ступеневе та поліноміальне рівняння.

Теоретично обґрунтованим є **ступеневе рівняння Г.В. Глушкова**, яке має такий вигляд

$$Q = a \cdot (H - H_0)^b, \quad (6.1)$$

де Q та H – відповідні витрати води та рівні, до яких вони віднесені;
 a та b – параметри рівняння, що встановлюються методами підбору (наприклад, методом найменших квадратів), при яких значення відхилень обчислених витрат води від вимірних є найменшими;

H_0 – параметр рівняння, який називається «рівнем нульового стоку», тобто рівень, при якому витрата води дорівнює нулю.

В зв'язку з тим, що параметр H_0 має фізичне значення (є рівнем води, при якому витрата води дорівнює нулю), тому його початкове значення може приблизно встановлюватись за даними залежності $Q = f(H)$ шляхом його екстраполяції вниз до перетину з віссю рівнів при нульовій витраті.

Фізичне значення параметра може також встановлюватись геодезичним способом по відмітці найвищої точки дна нижнього перекату (рис. 6.1 а), а якщо створ розташований на перекаті, то H_0 відповідає нижчій відмітці дна цього перекату (рис. 6.1 б).

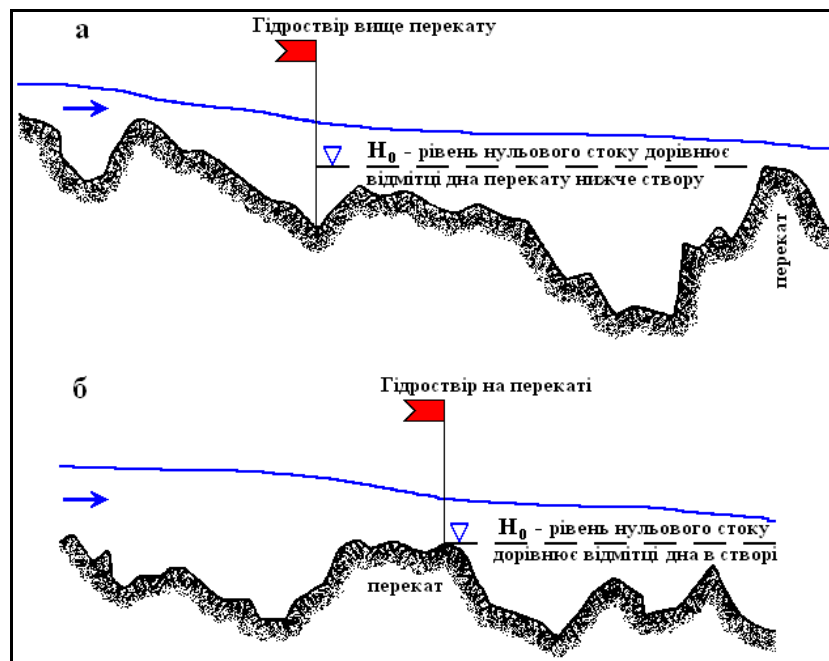


Рис. 6.1 – Схема визначення рівня нульового стоку на ділянці гідроствору

Крім ступеневого рівняння в гідрометричній практиці для аналітичного опису кривої витрат води також широко використовується **поліноміальне рівняння**

$$Q = a_0 + a_1 \cdot H + a_2 \cdot H^2 + a_3 \cdot H^3 + \dots + a_r \cdot H^r, \quad (6.2)$$

де Q та H – відповідні витрати води та рівні, до яких вони віднесені;
 $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_r$ – параметри рівняння (коефіцієнти), що визначаються (підбираються), наприклад, методом найменших квадратів;
 r – ступінь (порядок) полінома.

Встановлено, що ступінь полінома r повинен обмежуватись значеннями 2 або 3, тому що при більш високих значеннях і малому числі вимірних витрат води теоретична крива може стати місцями вигнута та мати ефекти «зайвої гнучкості», які не можуть бути обґрунтованими.

**Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу
розділу 6**

1. Поясніть АІС ДОВ, яка діє в нашій країні.
2. Охарактеризуйте переваги автоматизованого обчислення стоку води над «ручними» розрахунками.
3. Поясніть ступеневе рівняння Г.В. Глушкова для автоматизованого обчислення стоку води.
4. Що називається «рівнем нульового стоку» та яке фізичне значення має цей параметр?
5. Поясніть особливості використання поліноміального рівняння для автоматизованого обчислення стоку води.

7 МЕТОДИ РОЗЧЛЕНОВУВАННЯ ГІДРОГРАФІВ ВИТРАТ ВОДИ ТА ОБЧИСЛЕННЯ ПІДЗЕМНОГО СТОКУ В РУСЛО РІЧКИ

7.1 Типові схеми розчленовування гідрографів річкового стоку

Розчленовування гідрографів загального стоку полягає у виділенні на гідрографі об'ємів води, сформованих різними джерелами живлення (підземне, дощове, снігове, льодовикове тощо).

Підземне живлення річок здійснюється за рахунок стоку в русло річки ґрунтових і артезіанських вод. Динаміка підземного стоку з окремих водоносних горизонтів залежить від ступеня гідравлічного зв'язку цих горизонтів з річкою. За ступенем гідравлічного зв'язку з руслом річки підземні водоносні горизонти поділяються на такі:

– **водоносні горизонти, що не мають гідравлічного зв'язку з руслом річки** – режим стоку з цих підземних водоносних горизонтів близький до режиму поверхневого стоку з деяким запізнюванням (зсувом) фаз ходу рівня вправо по осі часу (рис. 7.1 а, б);

– **водоносні горизонти, що мають гідравлічний зв'язок з руслом річки** – режим стоку з цих горизонтів має протилежну спрямованість фаз в порівнянні з режимом поверхневих вод, тобто максимум поверхневого стоку відповідає мінімуму підземного стоку (рис. 7.1 в, г).

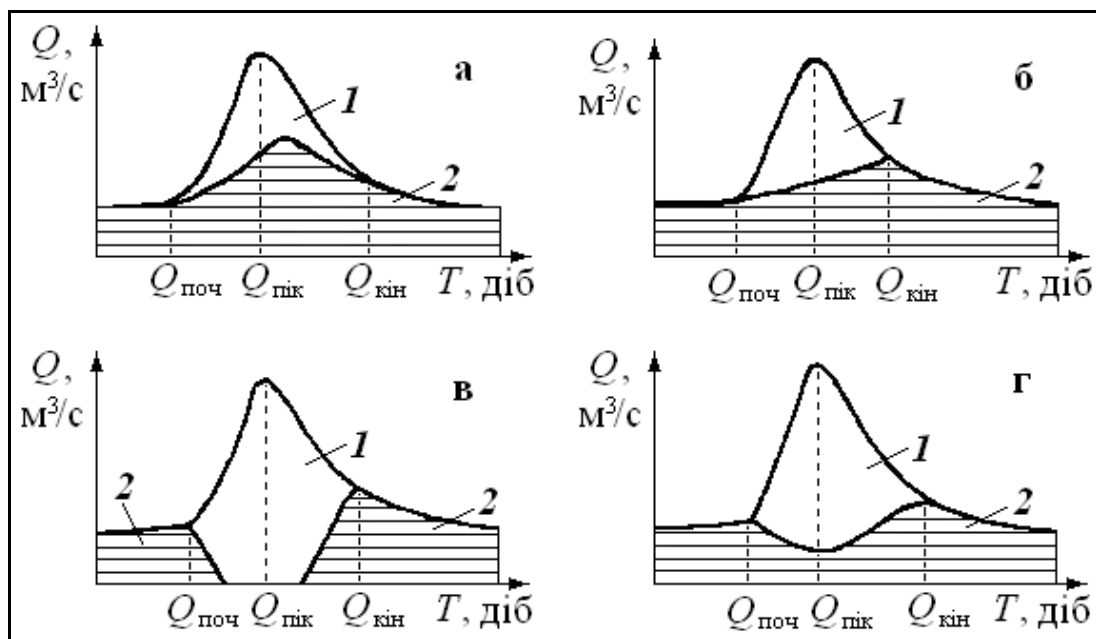


Рис. 7.1 – Типові схеми розчленовування гідрографів річкового стоку: а, б, в, г – пояснення в тексті; 1 – поверхневий стік; 2 – підземний стік

На деяких річках значний вплив у перерозподілі поверхневого стоку в періоди водопіль і паводків відіграє так зване **берегове регулювання**, коли при висхідних стадіях весняних водопіль і паводків в прибережній зоні річки утворюються зворотні гідравлічні ухили ґрунтового потоку та відбувається інфільтрація річкових вод в берега (рис. 7.2, **I, II**), а при спаді – дзеркало ґрунтового потоку набуває ухилу до русла річки (рис. 7.2, **III, IV**), утворюючи зворотний стік в русло річкових вод, що раніше (на висхідних стадіях водопіль і паводків) інфільтрувалися в його берега. Отже, в результаті берегового регулювання відбувається лише перерозподіл поверхневого стоку в періоди весняних водопіль і паводків.

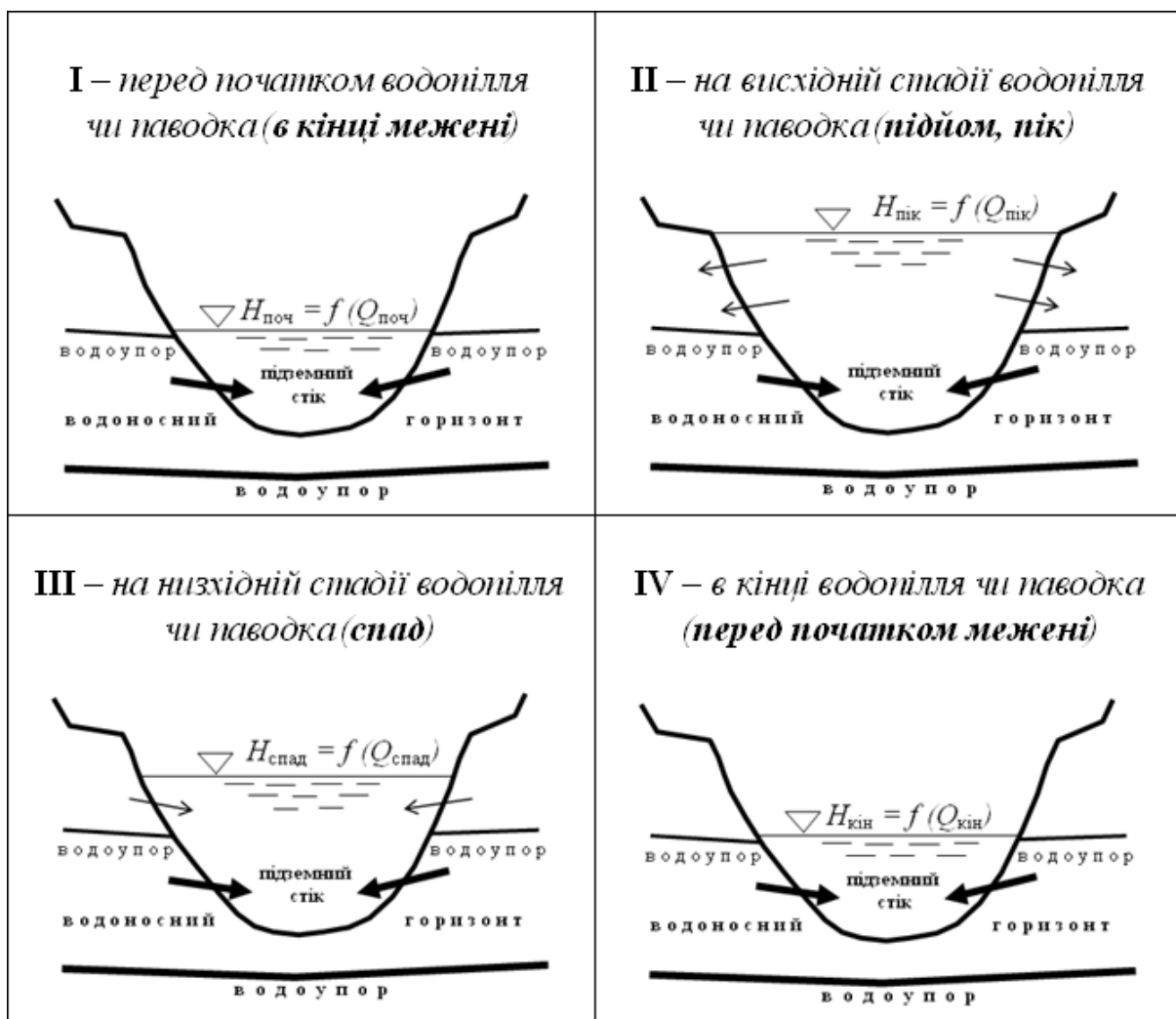


Рис. 7.2 – Схема берегового регулювання руслового стоку при відсутності гідравлічного зв'язку річки з водоносними горизонтами (рис. 7.1 а, б) та в умовах незначного гідравлічного зв'язку (рис. 7.1 г):

I, II, III, IV – пояснення на рисунку та в тексті

7.2 Визначення підземного стоку річок за методом О.С. Попова

При оцінці складного водообміну між річкою та підземними водами в різних умовах гідравлічного взаємозв'язку та берегового регулювання в періоди весняних водопіль і паводків для низхідного та підпірного режиму розглядаються співвідношення таких характерних підземних витрат: $Q_{\text{поч}}$ – до початку підйому рівня річкових вод; $Q_{\text{під}}$ – на підйомі рівня річкових вод; $Q_{\text{пік}}$ – на піку весняних водопіль і паводків; $Q_{\text{спад}}$ – спаді рівня річкових вод; $Q_{\text{кін}}$ – в кінці спаду рівня річкових вод.

Співвідношення витрат води підземних вод при низхідному режимі підземного стоку в русло річки, в умовах відсутності гідравлічного зв'язку водоносних горизонтів (7.1) або при наявності незначного гідравлічного зв'язку при слабкому впливі підпору на режим підземних вод прибережної зони (7.2) має таку закономірність (рис. 7.1 а, б):

$$\text{а) } Q_{\text{поч}} < Q_{\text{пік}}, Q_{\text{пік}} > Q_{\text{кін}}, \quad (7.1)$$

$$\text{б) } Q_{\text{поч}} < Q_{\text{пік}}, Q_{\text{пік}} < Q_{\text{кін}}. \quad (7.2)$$

З рис. 7.1 а, б та наведених співвідношень витрат (7.1) і (7.2) видно, що при низхідному режимі витрата підземного припливу в річку в період підйому рівня річкових вод збільшуватиметься.

В умовах наявності гідравлічного зв'язку водоносних горизонтів з руслом річки живлення річок за рахунок основних запасів підземних вод в періоди високих рівнів води різко скорочується (рис. 7.1 г), а у випадку повного гідравлічного зв'язку ґрунтових вод з річкою – підземне живлення в періоди водопіль і паводків може дорівнювати нулю (рис. 7.1 в).

При підпірному режимі підземного стоку в русло річки в умовах існування гідравлічного зв'язку підйом рівня річкових вод унаслідок підпору призводить до утворення зворотних ухилів ґрунтового потоку (рис. 7.2 II), тому спостерігаються закономірності показані на рис. 7.2 в, г. Співвідношення витрат при цьому виглядають таким чином:

$$\text{в) } Q_{\text{поч}} > Q_{\text{пік}}, Q_{\text{пік}} = 0, Q_{\text{поч}} < Q_{\text{кін}}, \quad (7.3)$$

$$\text{г) } Q_{\text{поч}} > Q_{\text{пік}}, Q_{\text{пік}} > 0, Q_{\text{поч}} < Q_{\text{кін}}. \quad (7.4)$$

При підпірному режимі мінімум підземного стоку або його нульові значення відповідають максимуму руслового стоку (рис. 7.1 в, г).

7.3 Визначення підземної складової річкового стоку за гідрохімічними даними

Підземна складова річкового стоку ($Q_{\text{підз}}$) в загальному вигляді може визначатись за рівнянням:

$$Q_{\text{підз}} = Q_{\text{річ}} \cdot \frac{C_{\text{річ}} - C_{\text{пов}}}{C_{\text{підз}} - C_{\text{пов}}}, \quad (7.5)$$

де $Q_{\text{підз}}$ та $Q_{\text{річ}}$ – відповідно витрати підземних та річкових вод, м³/с;
 $C_{\text{річ}}$, $C_{\text{пов}}$ та $C_{\text{підз}}$ – відповідно мінералізація річкових, поверхневих та підземних вод, мг/дм³.

Індикатором мінералізації може також обиратися гідрокарбонат-іон, оскільки залежність його вмісту від мінералізації достатньо тісна.

Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 7

1. Поясніть поділ підземних водоносних горизонтів за ступенем їх гідравлічного зв'язку з руслом річки та типові схеми розчленовування гідрографів річкового стоку.
2. Поясніть схему берегового регулювання руслового стоку при відсутності гідравлічного зв'язку річки з водоносними горизонтами.
3. Як визначається підземний стік річок за методом О.С. Попова?
4. Яким чином визначається підземна складова річкового стоку за гідрохімічними даними?

8 ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ ЗАВИСЛИХ НАНОСІВ

Води річок та інших водотоків завжди містять у собі ту або іншу кількість твердих частинок. Загальна кількість твердих частинок, що виноситься водотоком за певний період, наприклад, за рік, називається стоком наносів. Наносами називають тверді частинки, що транспортуються річковою водою. Наноси складаються з мінеральних зерен різного розміру. До складу наносів також входять частинки органічного походження. Наявність твердого стоку зумовлюється процесами механічної та хімічної ерозії. Механічна ерозія здійснюється в основному поверхневими водами, а хімічна – головним чином ґрунтовими. Основна кількість наносів надходить в русла річок з їх водозбірних басейнів, але деяка частина їх утворюється за рахунок розмиву русла – руслової ерозії.

Основними завданнями при визначенні стоку завислих наносів є обчислення середньодобових (щоденних) витрат наносів і характеристик стоку наносів за рік або інші періоди (за декаду, місяць, паводок тощо).

Якщо впродовж року на гідрологічних постах витрати завислих наносів вимірюються з періодичністю не менше 6 разів, то їх щоденні значення обчислюються з використанням графіків зв'язку витрат наносів R та води Q (рис. 8.1).

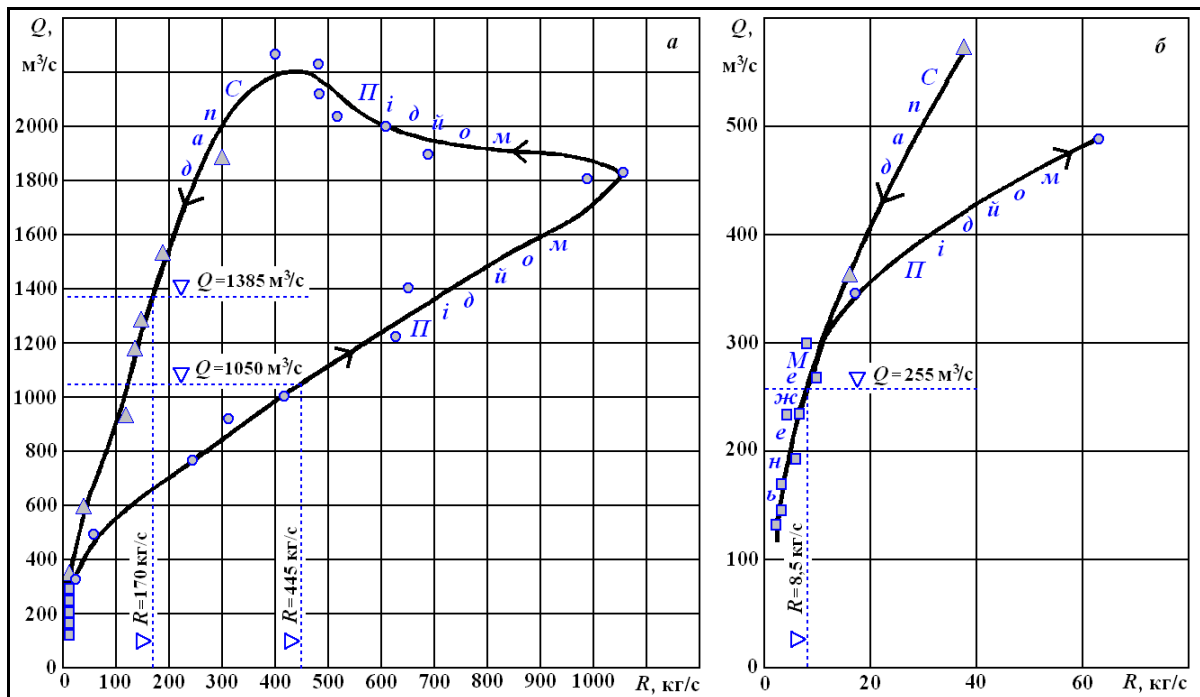


Рис. 8.1 – Залежність між вимірними витратами завислих наносів та витратами води $R = f(Q)$ для підйому і спаду водопілля (а) та межені (б)

Якщо на водомірних постах вимірюються витрати води Q та щоденно відбираються одиничні проби на мутність $\rho_{од.}$, то обчислення щоденних витрат завислих наносів виконується з використанням хронологічних графіків (рис. 8.2) і графіка зв'язку одиничної та середньої мутності води $\rho_{сер.} = f(\rho_{од.})$, що будується за даними вимірювань (рис. 8.3).

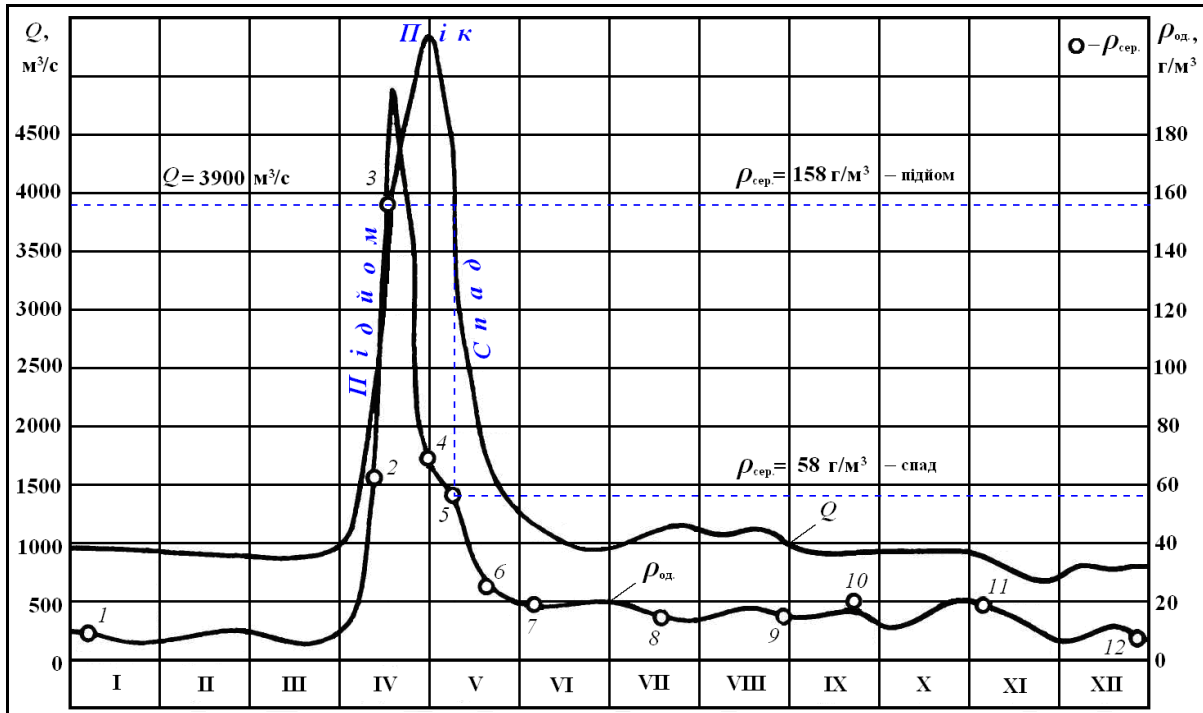


Рис. 8.2 – Мінливість щоденних значень мутності $\rho_{од.}$ та витрат води Q

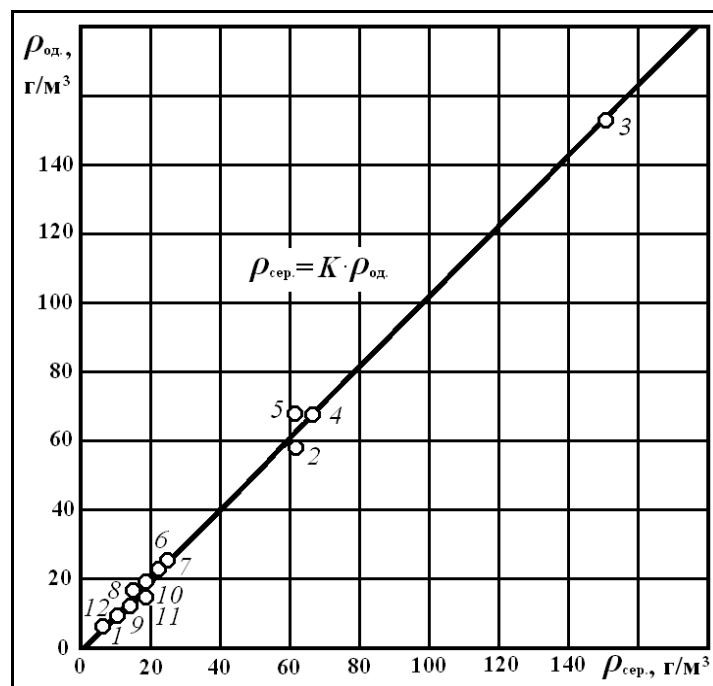


Рис. 8.3 – Зв'язок середньої та одиничної мутності води $\rho_{сер.} = f(\rho_{од.})$

Середньодобові витрати завислих наносів R , кг/с, обчислюються за формулою:

$$R = 0,001 \rho_{\text{сер.}} Q, \quad (8.1)$$

де 0,001 – коефіцієнт розмірності (переводить з грамів у кілограми);
 Q – середньодобова витрата води, м³/с, з таблиці «Витрата води»;
 $\rho_{\text{сер.}}$ – середня за добу мутність води, г/м³, яка визначається за допомогою графіка зв'язку середньої та одиничної мутності води (рис. 8.3)

$$\rho_{\text{сер.}} = K \rho_{\text{од.}}, \quad (8.2)$$

де K – безрозмірний коефіцієнт лінійної залежності $\rho_{\text{сер.}} = f(\rho_{\text{од.}})$;
 $\rho_{\text{од.}}$ – одинична мутність води, г/м³, яка визначається за даними щоденних відборів проб води на мутність в одній точці гідроствору в один з строків спостережень за рівнем води (8⁰⁰.);
 $\rho_{\text{сер.}}$ – середньодобова мутність річкових вод в гідростворі, г/м³, яка визначається за даними вимірювань витрат завислих наносів R і витрат води Q :

$$\rho_{\text{сер.,i}} = R_i / Q_i, \quad (8.3)$$

де i – номер вимірювання витрат наносів і води в гідростворі річки.
Основними характеристиками стоку завислих наносів за різні періоди часу (доба, декада, місяць, рік, водопілля, паводок) є такі:
– середньорічна та середньомісячні витрати наносів, кг/с;
– вага наносів за різні періоди часу, т (тонн);
– модуль стоку наносів, кг/(с·км²) або т/(с·км²).
Стік завислих наносів (вага наносів) P , т (тонн), за різні періоди часу (доба, декада, місяць, рік, водопілля, паводок) обчислюється за формулою:

$$P = 0,001 \cdot R \cdot 86400 \cdot n, \quad (8.4)$$

де 0,001 – коефіцієнт розмірності (переводить з кілограмів у тонни);
 R – середньодобова витрата завислих наносів, кг/с;
86400 – кількість секунд в одній добі;
 n – кількість діб в інтервалі часу, за який обчислюється вага наносів.
Середні за місяць або рік витрати та модуль стоку завислих наносів обчислюються за формулами, які використовуються при визначенні цих характеристик для стоку води, наприклад, формули (5.1) і (5.9) з розділу 5.

*Запитання для самоперевірки засвоєння матеріалу
розділу 8*

1. Що таке наноси та що називають стоком наносів?
2. Що входить до складу наносів та чим зумовлюється наявність твердого стоку?
3. Поясніть спосіб обчислення стоку завислих наносів за допомогою графіків зв'язку виміряних витрат наносів та води.
4. Поясніть спосіб обчислення стоку завислих наносів з використанням даних про мутність води.
5. Як визначаються середньодобові витрати завислих наносів?
6. Назвіть основні характеристики стоку завислих наносів і поясніть формулу для обчислення стоку наносів (ваги наносів) за різні періоди часу.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гидрологический ежегодник. 1965 г. Том 2. Бассейн Чёрного и Азовского морей (без Кавказа). Выпуск 4, 5. Бассейн р. Днепр ниже р. Припять. – К.: Фотоофсетная лаборатория УГМС УССР, 1967. – 414 с.
2. Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни «Автоматизація обчислення стоку хімічних речовин» / Гриб О. М. / – Одеса, ОДЕКУ, 2010. – 60 с.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. III. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 291 с.
4. Белов В. В. Автоматизація обчислення стоку хімічних речовин. Конспект лекцій. – Одеса, ТЕС, 2009. – 46 с.
5. Іваненко О. Г. Автоматизовані методи обчислення добового стоку в гідростворах річок. Навчальний посібник. – Одеса, ОГМІ, 1998. – 60 с.
6. Богословский Б. Б., Самохин А.А., Иванов К.Е., Соколов Д.П. Общая гидрология. Учебник. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 423 с.
7. Обчислення стоку води. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Гідрометрія». / Швєбс О. Г., Гриб О. М. – Одеса, ОДЕКУ, 2004. – 18 с.
8. Лучшева А. А. Практическая гидрометрия. Учебное пособие. Издание второе. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 424 с.
9. Лебедев В. В. Гидрология и гидрометрия в задачах. Учебное пособие. Издание третье. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 700 с.
10. Быков В. Д., Васильев А. В. Гидрометрия. Учебник. Издание четвёртое. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 448 с.
11. Карасёв И. Ф., Васильев А. В., Субботина Е. С. Гидрометрия. Учебник. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 376 с.
12. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. I. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 384 с.

Навчальне електронне видання

ГРИБ ОЛЕГ МИКОЛАЙОВИЧ

ГІДРОМЕТРІЯ

Конспект лекцій

Видавець і виготовлювач

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

E-mail: info@odeku.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5242 від 08.11.2016