

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**

**ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ**

“РІЧКОВА ГІДРАВЛІКА ТА ГІДРОМЕТРІЯ”

Блок змістовних модулів «Гідрометрія»

Напрямок підготовки “ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЯ”

Одеса – 2015

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**

**ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ**

“РІЧКОВА ГІДРАВЛІКА ТА ГІДРОМЕТРІЯ”

Блок змістовних модулів «Гідрометрія»

Напрямок підготовки “ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЯ”

“Затверджено”
на засіданні методичної комісії
природоохоронного факультету
Протокол № 11 від “25” 05 2015 р.

Одеса – 2015

Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни **“Річкова гідравліка та гідрометрія”** (Блок змістовних модулів «Гідрометрія») напрям підготовки «Гідрометеорологія» / к. геогр. н., доц. Гриб О.М. / – Одеса: ОДЕКУ, 2015. – 39 с.

ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
Передмова	4
1 Практична робота № 1 «Аналіз вихідних даних та визначення дат змін умов руху води в руслі річки для обрання методів обчислення середньодобових витрат води в різні періоди року»	6
2 Практична робота № 2 «Побудова та ув'язка кривої витрат води при вільному руслі»	12
3 Практична робота № 3 «Екстраполяція кривої витрат води до екстремальних рівнів води»	18
4 Практична робота № 4 «Розрахунок стоку води при льодових явищах і заростанні русла»	21
5 Практична робота № 5 «Обчислення характеристик стоку води за рік»	33
6 Практична робота № 6 «Формування таблиці “Витрати води”»	36
Рекомендована література	38

ПЕРЕДМОВА

Блок змістовних модулів «Гідрометрія» входить до дисципліни «Річкова гідравліка та гідрометрія», яка відноситься до професійно-орієнтованого циклу навчального плану підготовки студентів за напрямом підготовки «Гідрометеорологія».

Метою збірника методичних вказівок є ознайомлення студентів з методами й алгоритмами обробки даних спостережень та обчислення витрат води в річкових створах для підготовки Державного водного кадастру (ДВК).

Головним завданням цього збірника методичних вказівок є ознайомлення студентів з методами та алгоритмами обробки результатів гідрологічних спостережень, обчислення річкового стоку води, складання таблиць з щоденними, декадними, місячними витратами води та характеристиками стоку для публікації цих даних у виданнях ДВК.

Виконання практичних робіт базується на знаннях студентів, отриманих при попередньому вивченні таких дисциплін навчального плану підготовки рівня вищої освіти бакалавр як: «Вища математика», «Фізика», «Основи геодезії», «Методи гідрометеорологічних вимірювань», «Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації», «Фізична гідрологія», «Гідрогеологія» й інших.

Знання та вміння отримані в результаті виконання практичних робіт з цієї дисципліни будуть використовуватись при вивченні дисциплін «Гідрологічні розрахунки», «Гідрологічні прогнози», «Гідротехніка» тощо, при підготовці курсових і дипломних проектів та у фаховій діяльності.

Кожному студенту викладачем видається індивідуальний варіант вихідних даних. Оцінювання виконаних завдань здійснюється у відповідності до вимог робочої програми дисципліни.

Після виконання практичних робіт студенти повинні знати:

- методологію побудови кривої витрат води при однозначній залежності між витратами та рівнями води;
- способи обчислення стоку води при відсутності однозначної залежності між витратами та рівнями води (у тому числі, обчислення стоку при льодових явищах і заростанні русла);
- методи екстраполяції кривої витрат до екстремальних (найвищих і найнижчих) рівнів води;
- формули для обчислення основних характеристик стоку (середні витрати води, об'єм, модуль і шар стоку) за різні періоди часу;
- структуру таблиці «Витрати води» для публікації в ДВК.

Внаслідок виконання практичних робіт студенти повинні вміти:

- виконувати аналіз вихідних даних для обчислення стоку води (у тому числі, визначати дати змін умов руху води в руслі для обрання методів обчислення середньодобових витрат води в різні періоди року);

- проводити побудову та ув'язку кривих зв'язку $Q = f(H)$, $F = f(H)$ та $V = f(H)$ при вільному руслі;
- обчислювати абсолютні та середньоквадратичні похибки побудови кривої витрат води $Q = f(H)$ при вільному руслі;
- розраховувати таблицю координат кривої витрат води;
- обчислювати стік води при льодових явищах і заростанні русла з використанням перехідних коефіцієнтів;
- виконувати екстраполяцію кривої витрат до найвищих і найнижчих рівнів води графічним способом «за тенденцією»;
- обчислювати основні характеристики стоку (середні витрати води, об'єм, модуль і шар стоку) за різні періоди часу (декаду, місяць, рік);
- обчислювати основні характеристики стоку (середні витрати води, об'єм, модуль і шар стоку) за різні періоди часу (місяць, рік) та формувати таблицю «Витрати води» за формою ТГ-2 для публікації в матеріалах ДВК.

1 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

«АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ДАТ ЗМІН УМОВ РУХУ ВОДИ В РУСЛІ РІЧКИ ДЛЯ ОБРАННЯ МЕТОДІВ ОБЧИСЛЕННЯ СЕРЕДНЬОДОБОВИХ ВИТРАТ ВОДИ В РІЗНІ ПЕРІОДИ РОКУ»

Мета роботи:

виконати первинний аналіз результатів стаціонарних гідрологічних спостережень для вибору методу обчислення стоку води за добу, декаду, місяць і рік, у тому числі шляхом побудови кривої витрат води (КВВ) при вільному руслі.

Завдання роботи:

для вибору методу обчислення стоку води за добу, декаду, місяць і рік, виконайте аналіз вихідних даних у наступній послідовності:

- 1) опис пункту спостереження та прилеглої ділянки річки;
- 2) аналіз таблиці «Рівень води»;
- 3) аналіз таблиці «Виміряні витрати води».

Приклад аналізу вихідних даних наведено нижче за текстом.

Вихідні дані для виконання роботи:

опубліковані в матеріалах Державного водного кадастру (ДВК) серії 2 «Щорічні дані про режим і ресурси поверхневих вод суші» (гідрологічний щорічник) розділу 1 «Поверхневі води» частини 1 «Річки і канали» [1] наступні таблиці: «Рівень води», «Виміряні витрати води».

Для аналізу ділянки і пункту спостереження за водним режимом річок і каналів використовуються матеріали, опубліковані в таблиці 1.1 «Список постів на річках і каналах» та в розділі «Опис постів» (за роки кратні 5, наприклад, 1990 чи 2000 рр. або 1985 р.).

Пояснення до виконання роботи.

Матеріали ДВК складаються з розділів:

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 води та хімічних речовин за добу, декаду, місяць і рік використовують дані, 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'єкту, 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'єкту, 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.

В таблиці 1.2 «Рівень води» основні відомості про стан водного об'єкту відмічені умовними знаками праворуч від значення рівня води:

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------------|
| – чисто (або вільне русло); | (– закраїни; |
|) – забереги; | W – вода тече поверх льоду; |
| : – сало; | П – посування льоду; |
| * – рідкий шугохід; | Р – розводдя; |
| Ш – густий шугохід; | Ф – навислий лід; |
| И – рідка сніжура; | Н – навали льоду на берегах; |
| С – середня, густа сніжура; | > – затор (зажор) вище поста; |
| х – рідкий льодохід; | < – затор (зажор) нижче поста; |
| Л – середній, густий льодохід; | прмз – річка промерзла; |
| Ч – плавучий лід; | прсх – річка пересохла; |
|] – під льодом шуга; | Т – водна рослинність; |
| Z – неповний льодостав; | А – трава на дні; |
| I – льодостав; | В – стояча вода; |
| ; – внутрішньоводний лід; | Д – деформація русла. |

В таблиці 1.3 «Витрата води» використані наступні позначення:

0,000 – зникаючі значення витрати води, менше $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$;

нб – відсутність стоку води;

– (тире) – означає, що дані відсутні або забраковані.

Крім вище згаданих позначень в цій таблиці праворуч від значення витрати води, як і в таблиці 1.2 «Рівень води», умовними знаками можуть бути відмічені основні відомості про стан водного об'єкту.

Також над таблицею 1.3 приведені **F** – площа водозбору в км^2 та характеристики стоку води за рік: **W** – об'єм стоку в км^3 або млн. м^3 ; **M** – модуль стоку в $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ або **q** в $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$; **H** або **Y** – шар стоку в мм.

В таблиці 1.4 «Виміряні витрати води» для позначення стану річки на ділянці гідроствору використовуються такі основні умовні позначення:

- св** – річка вільна від льоду;
- тр** – русло заросло водною рослинністю;
- лдст** – льодостав;
- лдж** – густий та середній льодохід;
- рлдж** – рідкий льодохід;
- шуга** – шугохід;
- р.шуга** – рідкий шугохід;
- заб** – забереги;
- закр** – закраїни;
- впл** – вода тече поверх льоду.

Аналіз вихідних даних для обчислення стоку води виконується у наступній послідовності:

- I. Опис пункту спостереження та прилеглої ділянки річки;*
- II. Аналіз таблиці «Рівень води»;*
- III. Аналіз таблиці «Виміряні витрати води»;*

I. Опис пункту спостереження та прилеглої ділянки річки.

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 річки на ділянці гідрологічного поста.

II. Аналіз таблиці «Рівень води».

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

1) безпосередній 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 паводку) 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;
- 2) 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.

III. Аналіз таблиці «Виміряні витрати води»

Аналіз таблиці з вимірними 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 (лдх), рідкому льодоході (рлдх), 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 паводку влітку та відповідає рівню 198 см;
- мінімальна витрата води – 175 м³/с, виміряна 18 липня, в період межені влітку та відповідає рівню 98 см.

Звітний матеріал по виконаній роботі:

пояснювальна записка до роботи з виконаним завданням.

Контрольні запитання до роботи:

1. З яких розділів складаються матеріали ДВК?
2. На які серії поділяються розділи ДВК?
3. Які видання входять до серії 2 «Щорічні дані» розділу 1 «Поверхневі води»?
4. Які дані публікуються у частинах гідрологічного щорічника (ГЩ)?
5. Які розділи і таблиці друкуються у частині 1 «Річки і канали» ?
6. Якими умовними знаками позначають стан водного об'єкту в таблицях «Рівень води» та «Витрата води»?

7. Які дані входять до таблиці «Рівень води»?
8. Які дані входять до таблиці «Виміряні витрати води»?
9. Які умовні позначення використовують в таблиці «Виміряні витрати води»?
10. В якій послідовності виконується аналіз вихідних даних для обчислення стоку води?
11. Яка інформація обов'язково вказується при аналізі ділянки та пункту спостережень за водним режимом?
12. Яким чином виконується аналіз таблиці «Рівень води»?
13. Як виконується аналіз таблиці «Виміряні витрати води»?

2 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

«ПОБУДОВА ТА УВ'ЯЗКА КРИВОЇ ВИТРАТ ВОДИ ПРИ ВІЛЬНОМУ РУСЛІ»

Мета роботи:

побудувати та ув'язати криву витрат води (КВВ) при вільному руслі.

Завдання роботи:

побудуйте криву зв'язку $Q = f(H)$ при вільному руслі.

Алгоритм і приклад побудови КВВ та обчислення середньої імовірної похибки наведено нижче за текстом.

Вихідні дані для виконання роботи:

опубліковані в матеріалах Державного водного кадастру (ДВК) серії 2 «Щорічні дані про режим і ресурси поверхневих вод суші» (гідрологічний щорічник) розділу 1 «Поверхневі води» частини 1 «Річки і канали» [1].

Для побудови КВВ при вільному руслі використовуються матеріали, опубліковані в таблиці 1.4 «Виміряні витрати води».

Пояснення до виконання роботи.

Рівні води виміряються 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. Підчас межень 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 $Q = f(H)$.

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 залежність витрат від рівнів води має у випадку рівномірного руху води в руслі річки, що не має деформацій.

Для побудови КВ використовують значення вимірних витрат води (ВВВ) і відповідні їм рівні води. Ці матеріали за календарні роки публікуються в таблиці з вимірними витратами води.

КВ будується в прямокутній системі координат (рис. 2.1), де також проводяться лінії, що відповідають максимальному та мінімальному 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 – однозначна залежність.

Порядок побудови КВ $Q = f(H)$ 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 КВ 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). КВ 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 %. 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 КВ. 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 $V = f(H)$ беруть із таблиці ВВВ.

Криві площ і середніх швидкостей необхідні для екстраполяції КВ 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:

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

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.

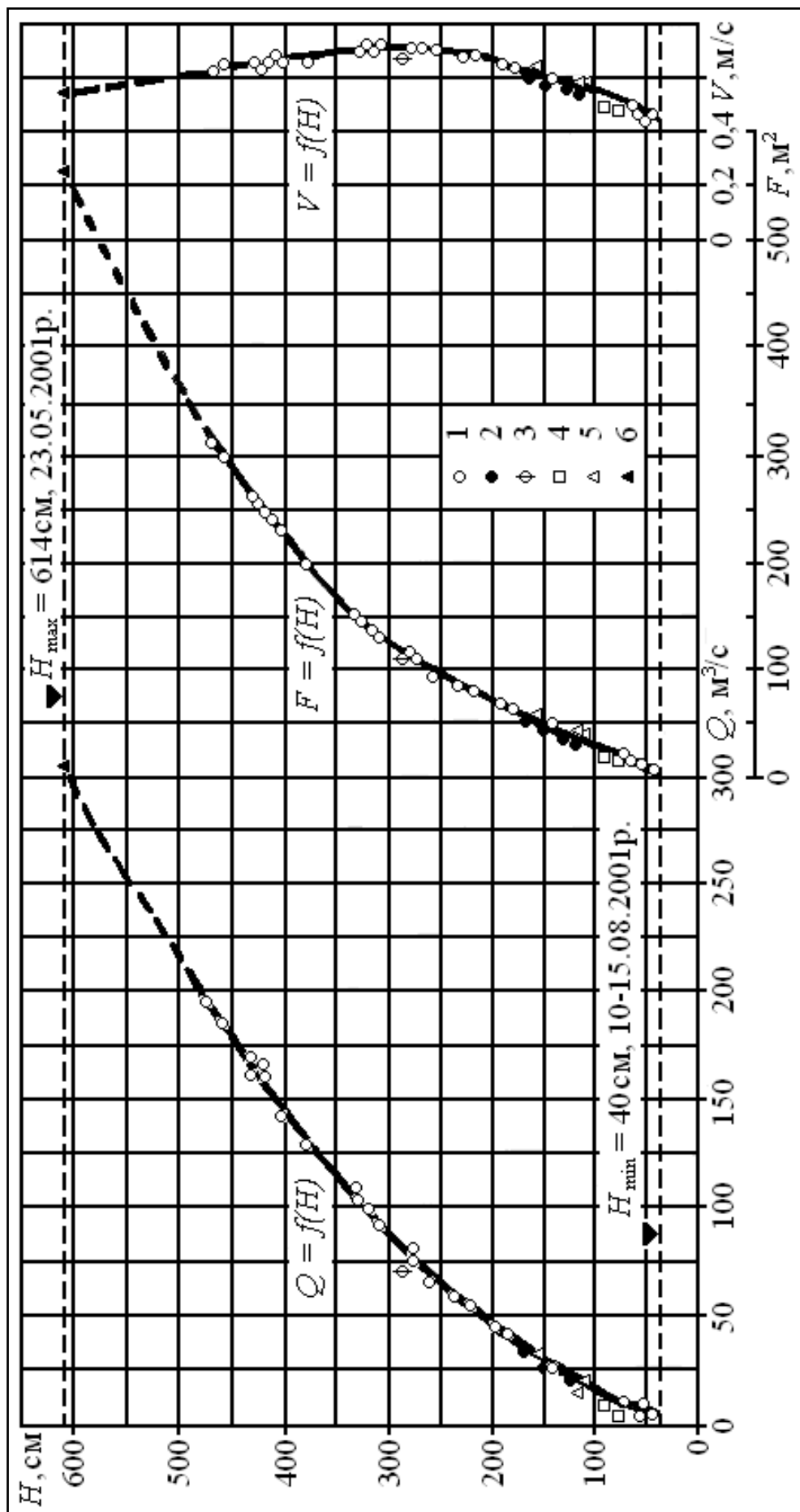


Рис. 2.1 – Криві зв'язку $Q = f(H)$, $F = f(H)$ та $V = f(H)$, р. Дністер – смт Григориопіль, 2001 рік [4]:

1 – період вільного русла, 2 – льодостав, 3 – льодохід, 4 – заростання, 5 – забереги, 6 – екстрапольовані значення

При цьому керуються правилом, якщо обчислена витрата ($Q_{обч}$) відрізняється від знятої з КВ ($Q_{кр}$) 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
250	94	0,70	65,8	65,0	0,8	1,23
...

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
...
80	12,4	12,6	12,8	13,0	13,2	13,4	13,7	13,9	14,1	14,3
90	14,5	14,7	14,9	15,1	15,3	15,5	15,7	15,9	16,1	16,3
...
420	152	153	153	154	155	156	156	157	158	158
...
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 КВ 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. Таким чином, 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 менше 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

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 виміряних витрат, які враховувалися при побудові КВ.

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

Звітний матеріал по виконаній роботі:

пояснювальна записка до роботи з виконаним завданням.

Контрольні запитання до роботи:

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 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

«ЕКСТРАПОЛЯЦІЯ КРИВОЇ ВИТРАТ ВОДИ ДО ЕКСТРЕМАЛЬНИХ РІВНІВ ВОДИ»

Мета роботи:

виконати екстраполяцію кривої витрат води до найвищих за рік екстремальних рівнів води одним з наведених нижче способів.

Завдання роботи:

виконайте екстраполяцію кривої витрат води до найвищих за рік екстремальних рівнів води одним з наведених нижче способів:

- способом графічної екстраполяції «за тенденцією»;
- з використанням формули І.Ф. Карасьова.

Алгоритм екстраполяцію кривої витрат води до найвищих за рік екстремальних рівнів води наведено нижче за текстом.

Вихідні дані для виконання роботи:

опубліковані в матеріалах Державного водного кадастру (ДВК) серії 2 «Щорічні дані про режим і ресурси поверхневих вод суші» (гідрологічний щорічник) розділу 1 «Поверхневі води» частини 1 «Річки і канали» [1] наступні таблиці: «Виміряні витрати води», «Рівень води».

Пояснення до виконання роботи.

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 виміряних 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.

Більш об'єктивну та точну екстраполяцію КВВ до найвищих і найнижчих рівнів можна виконати за допомогою гідравлічних формул, які засновані на екстраполяції гідравліко-морфологічних характеристик річки, наприклад, екстраполяція за формулою І.Ф. Карасьова.

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

$$Q = Q_0 \cdot (F / F_0)^m, \quad (3.1)$$

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 вимірними витратами води встановлюються опорні значення параметрів рівняння зв'язку витрат з рівнями для відрізка кривої, що передує зоні екстраполяції;

2) розрахунок екстрапольованої витрати для найвищого рівня води.

Перший етап екстраполяції виконується з використанням формули І.Ф. Карасьова (3.1), 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 (3.1) одержуємо такий вираз для m :

$$m_i = (\ln Q_i - \ln Q_{i-1}) / (\ln F_i - \ln F_{i-1}), \quad (3.2)$$

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

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 (3.2), 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 (3.2) для параметра m вводять не виміряні 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 (3.2), 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:

$$Q_e = Q_i \cdot (F_e / F_i)^{m_i}. \quad (3.3)$$

Звітний матеріал по виконаній роботі:

пояснювальна записка до роботи з виконаним завданням.

Контрольні запитання до роботи:

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 за формулою І.Ф. Карасьова.

4 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

«РОЗРАХУНОК СТОКУ ВОДИ ПРИ ЛЬODOВИХ ЯВИЩАХ І ЗАРОСТАННІ РУСЛА»

Мета роботи:

виконати розрахунок середньодобових витрат води для періодів року з льодовими явищами і зарослому руслі; обчислити основні характеристики стоку води для місяців року та за рік; сформувати таблицю щоденних витрат води за формою ТГ-2.

Завдання роботи:

виконайте побудову графіків перехідних коефіцієнтів та розрахуйте середньодобові витрати води для періодів року з льодовими явищами і зарослому руслі.

Алгоритм і приклад побудови графіків перехідних коефіцієнтів та обчислення середньодобових витрат води наведено нижче за текстом.

Вихідні дані для виконання роботи:

опубліковані в матеріалах Державного водного кадастру (ДВК) серії 2 «Щорічні дані про режим і ресурси поверхневих вод суші» (гідрологічний щорічник) розділу 1 «Поверхневі води» частини 1 «Річки і канали» [1] наступні таблиці: «Виміряні витрати води», «Рівень води».

Для розрахунку середньодобових витрат води в періоди року з льодовими явищами і зарослому руслі використовуються матеріали, опубліковані в таблиці 1.4 «Виміряні витрати води».

Пояснення до виконання роботи.

На більшості річок України глибокою осінню, після стійкого переходу температури повітря через 0 °С в негативні значення, 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 супутній йому явища – затори та зажори. У період тривалої зимової відлиги, 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. 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 льодовими формами, а також в зв'язку із збільшенням площі тертя за рахунок нижньої поверхні льоду (при льодоставі площа змоченого периметра практично подвоюється).

У гідрометричній практиці при обчисленнях добового стоку води зазвичай застосовується метод зимових перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$, введених С. Колупайло [5], як характеристику пропускнуєї спроможності річкового русла:

$$K_{зим} = \frac{Q_{зим}}{Q_{віль}}, \quad (4.1)$$

де $Q_{зим}$ і $Q_{віль}$ – відповідно, витрати води виміряні при льодових явищах і визначені за допомогою КВВ для вільного русла, при однаковому рівні води.

Залежність перехідного коефіцієнта $K_{зим}$ від чинників, що його визначають, може бути записана за допомогою виразів для $Q_{зим}$ і $Q_{віль}$, відповідно, (4.4) та (4.5), складених на базі формули Шезі (4.2) з використанням формули Шезі-Манінга (4.3):

$$Q = F \cdot V_{сер} = \frac{F}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}, \quad (4.2)$$

де F – площа водного перерізу русла;

R – гідравлічний радіус русла (для широких русел R приблизно дорівнює середній глибині русла $h_{сер}$);

I – п'єзометричний уклон водної поверхні;

n – коефіцієнт шорсткості русла;

$V_{сер}$ – середня швидкість течії, що обчислюється за формулою Шезі-Маннінга:

$$V_{сер} = C \cdot \sqrt{R \cdot I} = \frac{R^{\frac{2}{3}}}{n} \cdot I^{\frac{1}{2}}, \quad (4.3)$$

де C – коефіцієнт Шезі;

$$Q_{зим} = \frac{F_{зим} \cdot h_{зим}^{\frac{2}{3}} \cdot I_{зим}^{\frac{1}{2}}}{n_{зим}}, \quad (4.4)$$

$$Q_{віл} = \frac{F_{віл} \cdot h_{віл}^{\frac{2}{3}} \cdot I_{віл}^{\frac{1}{2}}}{n_{віл}}. \quad (4.5)$$

Вираз для $K_{зим}$ можна скласти, поділивши рівняння (4.4) на (4.5), оскільки витрати $Q_{зим}$ і $Q_{віл}$ віднесені до одного рівня:

$$K_{зим} = \frac{F_{зим}}{F_{віл}} \cdot \left(\frac{h_{зим}}{h_{віл}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{n_{зим}}{n_{віл}} \cdot \left(\frac{I_{зим}}{I_{віл}} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (4.6)$$

При наявності льодоставу добуток перших двох множників виразу (4.6) завжди менше за 1, а його величина залежить від глибини затопленого льоду, оскільки $F_{зим}$ менше живого перетину $F_{віл}$ на величину площі затопленого льоду, а $h_{зим}$ менше $h_{віл}$ 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 (4.6) практично важко скористатися для розрахунків коефіцієнтів $K_{зим}$ та обчислити їх добові значення. Це пов'язано з тим, що один чинник – коефіцієнт шорсткості, не може бути встановлено на кожен добу через відсутність методів його вимірювання. Він може бути обчислений тільки зворотним розрахунком з формули Шезі-Маннінга – за середньою в перерізі швидкості течії, отриманої при вимірюванні витрати води. Тому в свій час С. Колупайло [5] запропонував визначати добові зимові коефіцієнти $K_{зим}$, знімаючи їх значення з інтерполяційної лінії, яка з'єднує точки на хронологічному графіку $K_{зим}$, що будується за даними вимірювань зимових витрат води (рис. 4.1).

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

$$Q_{зим, j} = Q_{віл, j} \cdot K_{зим, j}. \quad (4.7)$$

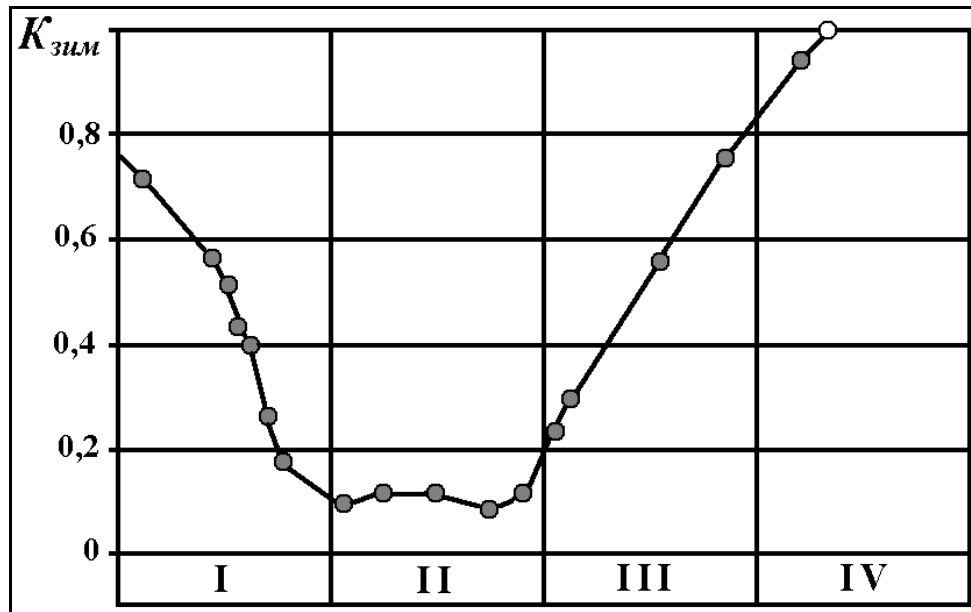


Рис. 4.1 – Графік перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$, початок року, р. Дністер – с. Маяки, 2010 р.

Потрібно зазначити, що кінець (початок) графіка $K_{зим}$ для періодів з льодовими явищами відповідає значенню $K_{зим} = 1$. Вони доводяться 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].

Заростання річкових русел водною 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 вимірним витратам і середнім швидкостям течії за наявності рослинності, розташовуються зліва від основних однозначних КВВ для вільного русла. Найбільший вплив на зв'язок витрат і швидкостей води з рівнями води рослинність має в період її повного розвитку.

У періоди заростання русла для обчислення стоку води також використовується метод інтерполяційного хронологічного графіка перехідних коефіцієнтів $K_{зар}$.

Значення коефіцієнта $K_{зар}$ обчислюються за відношенням витрати, вимірної при зарослому травною руслі, до витрати, знятої з однозначної кривої витрат для вільного русла, при однаковому рівні води, тобто (4.8):

$$K_{зар} = \frac{Q_{зар}}{Q_{віл}}, \quad (4.8)$$

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 $K_{зар}$, аналогічно розрахунку їх при наявності льодових явищ.

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.

Відповідно до завдання побудова графіків перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$ та $K_{зар}$ і розрахунок середньодобових витрати води для періодів року з льодовими явищами та зарослому руслі виконується для початку та в кінці року (табл. 4.1), при цьому:

- в першому (останньому) рядку необхідно внести дату передостаннього (першого) дня з вільним руслом перед (після) періодом з льодовими явищами та внести у стовпчик з коефіцієнтами 1,00;
- номери в першому стовпчику повинні відповідати порядковим номерам з таблиці вихідних даних.

Далі будуються графіки перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$ для початку (рис. 4.2) та кінця року (рис. 4.3).

Зняті з графіків перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$ (рис. 2.2 та 2.3) добові значення $K_{зим,j}$ вносяться в таблицю «Обчислення щоденних витрат води, м³/с, при льодових явищах» (табл. 2.3), де з використанням витрат води, визначених для вільного русла $Q_{віль,j}$ по КВВ для рівнів H_j на кожен j -у добу, обчислюються $Q_{зим,j}$ для всіх діб періодів з льодовими явищами.

Для побудови графіка перехідних коефіцієнтів $K_{зар}$ необхідно в таблицю «Виміряні витрати та рівні води, при зарослому руслі» (табл. 4.4), внести дані про виміряні витрати води в період зарослого русла, при цьому:

- в першому і останньому рядку необхідно внести дату передостаннього та першого дня з вільним руслом перед і після періоду зарослого русла та внести у стовпчик з коефіцієнтами 1,00;
- номери в першому стовпчику повинні відповідати порядковим номерам з таблиці вихідних даних.

Таблиця 4.1 – Виміряні витрати та рівні води,
при льодових явищах на поч. року, р. Салгір – с. Листвяне, 2009 р.

№	Дата	Гідроствір	Стан	H , см	$Q_{зим}$, м ³ /с	$Q_{віл}$, м ³ /с	$K_{зим}$
НА ПОЧАТКУ РОКУ							
1	06.01	1	лдст	60	2,94	5,69	0,52
2	16.01	1	лдст	56	2,08	5,17	0,40
3	28.01	1	лдст	62	1,87	5,95	0,31
4	09.02	1	лдст	71	2,22	7,17	0,31
5	16.02	1	лдст	72	2,18	7,31	0,30
6	28.02	1	лдст	73	1,99	7,45	0,27
7	11.03	1	лдст	84	2,17	9,04	0,24
8	20.03	1	лдст	87	2,58	9,49	0,27
9	27.03	1	лдст	112	4,90	13,4	0,36
10	29.03	1	лдст	140	7,41	18,3	0,41
11	03.04	1	лдст	125	6,22	15,6	0,40
12	06.04	1	лдст	113	5,74	13,6	0,42
13	09.04	1	лдст	130	7,93	16,5	0,48
14	13.04	1	рлх	98	9,70	11,2	0,87
–	23.04	–	св	–	–	–	1,00
В КІНЦІ РОКУ							
–	18.10	–	св	–	–	–	1,00
44	26.10	1	лдст	35	2,53	2,71	0,93
45	03.11	1	лдст	37	2,47	2,92	0,85
46	14.11	1	лдст	70	2,41	7,03	0,34
47	17.11	1	лдст	47	1,64	4,06	0,40
48	30.11	1	лдст	57	2,13	5,30	0,40
49	13.12	1	лдст	116	8,17	14,1	0,58
50	20.12	1	лдст	84	5,13	9,04	0,57
51	30.12	1	лдст	83	4,10	8,89	0,46

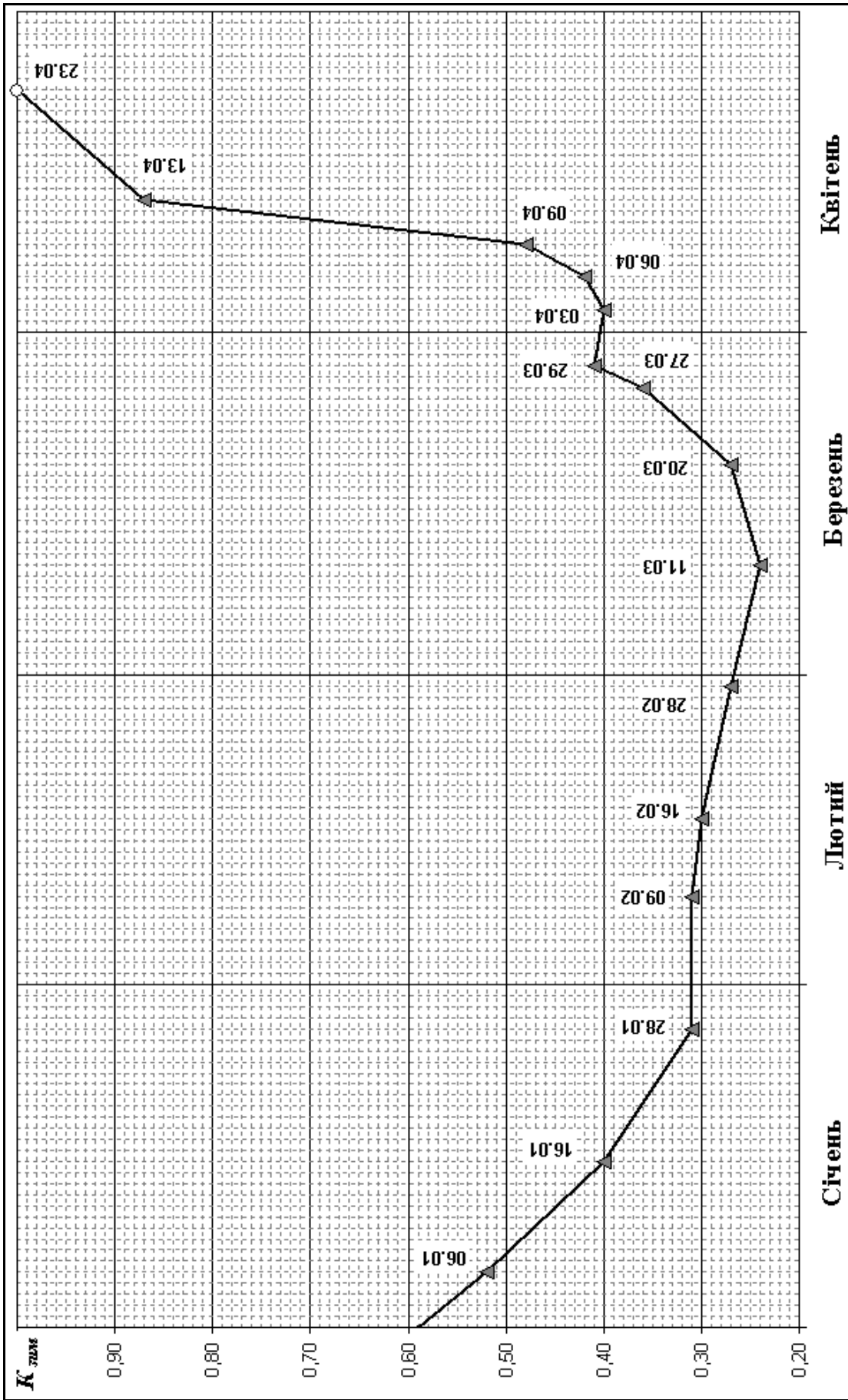


Рис. 4.2 – Графік перехідних коефіцієнтів K_{30mm} (початок року), р. Салгір – с. Листвяне, 2009 р.

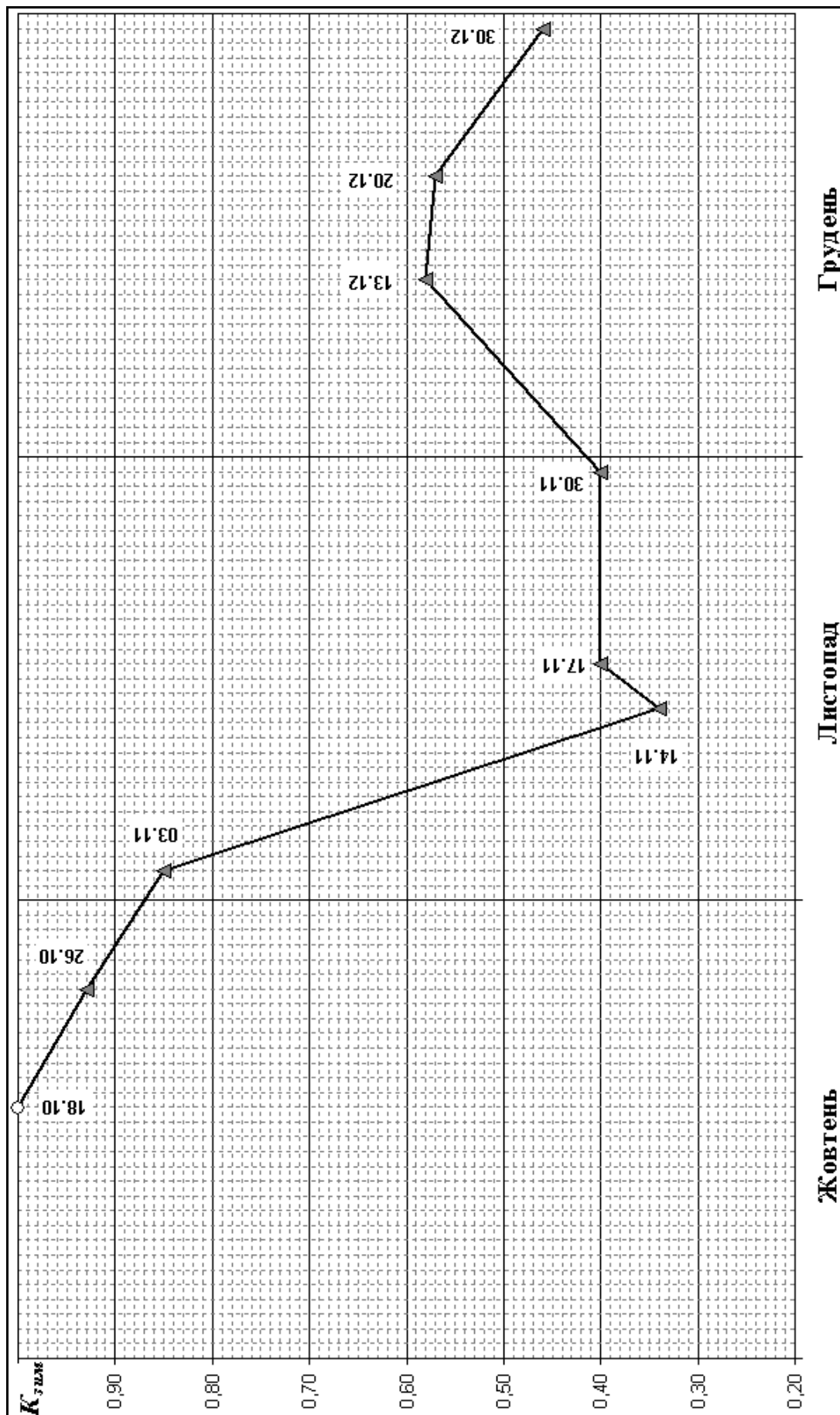


Рис. 4.3 – Графік перехідних коефіцієнтів K_{31M} (кінець року), р. Салпир – с. Листвяне, 2009 р.

Таблиця 4.3 – Обчислення щоденних витрат води, м³/с,
при льодових явищах, р. Салгір – с. Листвяне, 2009 р.

Дата	H_j , см	$Q_{вил,j}$, м ³ /с	$K_{зим,j}$	$Q_{зим,j}$, м ³ /с
01.01	102	11,8	0,59	6,97
02.01	102	11,8	0,58	6,85
03.01	100	11,5	0,56	6,44
04.01	98	11,2	0,55	6,15
05.01	92	10,2	0,54	5,53
06.01	90	9,94	0,52	5,17
07.01	90	9,94	0,51	5,07
08.01	91	10,1	0,50	5,05
09.01	92	10,2	0,48	4,92
10.01	94	10,6	0,47	4,96
11.01	94	10,6	0,46	4,86
12.01	94	10,6	0,45	4,75
...
19.12	56	5,17	0,57	2,95
20.12	56	5,17	0,57	2,95
21.12	57	5,30	0,56	2,97
22.12	56	5,17	0,55	2,84
23.12	60	5,69	0,54	3,07
24.12	60	5,69	0,53	3,01
25.12	60	5,69	0,52	2,96
26.12	60	5,69	0,50	2,84
27.12	60	5,69	0,49	2,79
28.12	60	5,69	0,48	2,73
29.12	61	5,82	0,47	2,73
30.12	60	5,69	0,46	2,62
31.12	60	5,69	0,45	2,56

Таблиця 4.4 – Виміряні витрати та рівні води,
при зарослому руслі, р. Салгір – с. Листвяне, 2009 р.

№	Дата	Гідроствір	Стан	H , см	$Q_{зар}$, м ³ /с	$Q_{вил}$, м ³ /с	$K_{зар}$
–	06.06	–	св	–	–	–	1,00
26	15.07	1	тр	33	1,78	2,50	0,71
27	19.07	1	тр	60	3,17	5,69	0,56
28	05.09	1	тр	38	2,61	3,03	0,86
29	15.10	1	тр	36	2,64	2,81	0,94
–	18.10	–	св	–	–	–	1,00

Після цього будується графік перехідних коефіцієнтів $K_{зар}$ (рис. 4.4).

Далі зняті з графіків перехідних коефіцієнтів $K_{зар}$ (рис. 4.4) добові значення $K_{зар,j}$, вносяться в таблицю «Обчислення щоденних витрат води, м³/с, при зарослому руслі» (табл. 4.5), де з використанням витрат води, визначених для вільного русла $Q_{вил,j}$ по КВВ для рівнів H_j на кожен j -у добу, обчислюються $Q_{зар,j}$ для всіх діб періоду з зарослим руслом.

Таблиця 4.5 – Обчислення щоденних витрат води, м³/с,
при зарослому руслі, р. Салгір – с. Листвяне, 2009 р.

Дата	H_j , см	$Q_{вил,j}$, м ³ /с	$K_{зар,j}$	$Q_{зар,j}$, м ³ /с
...
18.07	50	4,42	0,60	2,65
19.07	60	5,69	0,56	3,19
20.07	60	5,69	0,57	3,24
...
15.10	36	2,81	0,94	2,65
16.10	37	2,92	0,96	2,81
17.10	37	2,92	0,98	2,86

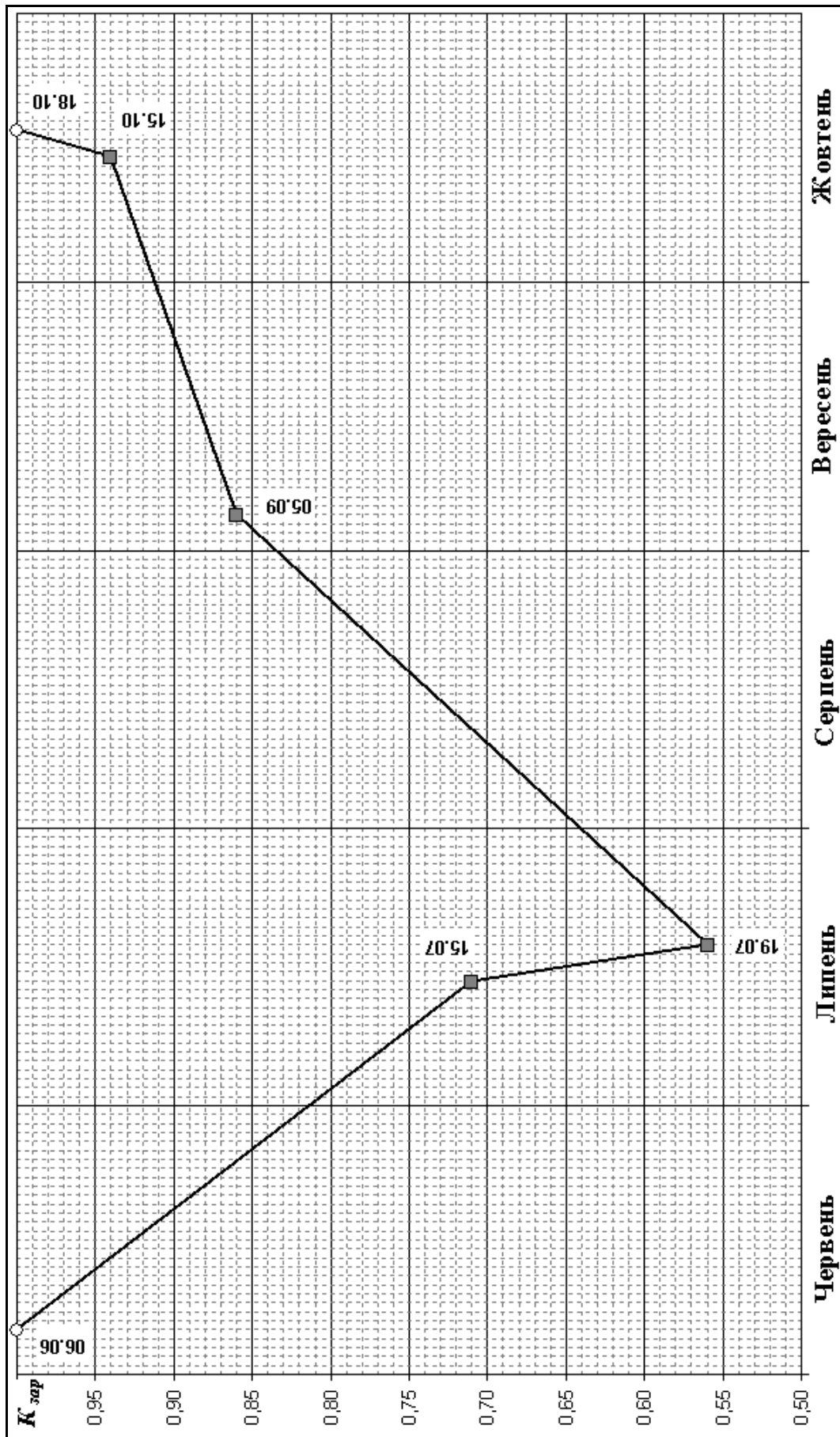


Рис. 4.4 – Графік перехідних коефіцієнтів $K_{зар}$, р. Салгір – с. Листвяне, 2009 р.

Звітний матеріал по виконаній роботі:

пояснювальна записка до роботи з виконаним завданням.

Контрольні запитання до роботи:

1. Які льодові явища та коли спостерігаються на річках?
2. Яким чином відбувається заростання русла річки водною рослинністю та коли це спостерігається?
3. Яким чином льодові явища впливають рух води у руслах річок?
4. Яким чином водна рослинність впливає рух води у руслах річок?
5. Поясніть як і з використанням яких даних розраховується зимовий перехідний коефіцієнт $K_{зим}$, ким цей коефіцієнт було введено в гідрометричну практику та для чого?
6. Яким чином виконується розрахунок витрат води в руслі річок з використанням формули Шезі, поясніть її?
7. Яким чином виконується розрахунок середньої швидкості течії в руслі річок з використанням формули Шезі-Манінга, поясніть її?
8. Яким чином обчислюють зимовий перехідний коефіцієнт $K_{зим}$ з використанням формули Шезі та поясніть чому він менше за 1?
9. Поясніть як і з використанням яких даних розраховується перехідний коефіцієнт $K_{зар}$?
10. У якій послідовності та з використанням яких даних будуються графіки перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$ та $K_{зар}$?
11. Яким чином і з використанням яких даних обчислюються добові значення витрат води для періодів з льодовими явищами ($Q_{зим,j}$) та при зарослому водною рослинністю руслі ($Q_{зар,j}$)?
12. Чи є однаковими причини зменшення пропускної спроможності русла річки при його заростанні водною рослинністю та при льодових явищах в ньому, поясніть це?

5 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

«ОБЧИСЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКУ ВОДИ ЗА РІК»

Мета роботи:

обчислити основні характеристики стоку води для місяців року та за рік для формування таблиці щоденних витрат води за формою ТГ-2.

Завдання роботи:

розрахуйте основні характеристики стоку води за рік (Q_p – середньорічну витрату води, м³/с; W_p – об'єм стоку, км³; M_p – модуль стоку, дм³/(с·км²); Y_p – шар стоку, мм) для підготовки таблиці «Витрат води» за формою ТГ-2.

Алгоритм і приклад розрахунку характеристик стоку для заповнення таблиці «Витрат води» за формою ТГ-2 наведено нижче за текстом.

Вихідні дані для виконання роботи:

для обчислення основних характеристик стоку води за рік використовуються середньодобові витрати води, обчисленні для періодів при вільному руслі та в періоди року з льодовими явищами і зарослому руслі.

Пояснення до виконання роботи.

До основних характеристик стоку води, які обчислюються при складанні таблиці «Витрата води» за формою ТГ-2 належать:

- середні за декади Q_I , Q_{II} , Q_{III} , середньомісячні Q_j та середньорічна Q_p витрати води в м³/с;
- об'єм стоку за рік W_p в км³ або млн. м³;
- модуль стоку M_p в дм³/(с·км²);
- шар стоку Y_p в мм.

Середні декадні витрати води Q_I , Q_{II} , Q_{III} в м³/с обчислюються за формулами:

$$Q_I = \sum_{i=1}^{10} Q_i / 10, \quad (5.1)$$

$$Q_{II} = \sum_{i=1}^{10} Q_i / 10, \quad (5.2)$$

$$Q_{III} = \sum_{i=1}^{n_{III}} Q_i / n_{III}, \quad (5.3)$$

де Q_i – середньодобові витрати води для всіх днів місяцю в м³/с;

10 – кількість днів у I та II декадах;

n_{III} – кількість днів у III декаді (31 доба – у січні, березні, травні, липні, серпні, жовтні та грудні; 28 або 29 днів – у лютому, 30 днів – у квітні, червні, вересні, листопаді).

Середньомісячні витрати води Q_j в м³/с обчислюється за формулою:

$$Q_j = (Q_I + Q_{II} + Q_{III}) / 3, \quad (5.4)$$

де 3 – кількість декад в місяці.

Середньорічна витрата води Q_p в м³/с обчислюється за формулою:

$$Q_p = \sum_{j=1}^{12} Q_j / 12, \quad (5.5)$$

де 12 – кількість місяців в році.

Об'єм стоку за рік W_p в км³ – кількість води, що надходить з водозбору за рік. Об'єм стоку за рік W_p в км³ обчислюється за формулою:

$$W_p = Q_p \cdot T_p \cdot 10^{-9}, \quad (5.6)$$

де Q_p – середньорічна витрата води в м³/с;

T_p – кількість секунд в році (31536000 с – для років не кратних 4; 31622400 с – для років кратних 4);

10^{-9} – перевідний коефіцієнт з м³ у км³.

Модуль стоку за рік M_p – кількість води, що надходить з одиниці площі водозбору за одиницю часу.

Модуль стоку за рік M_p в $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ визначається за формулою:

$$M_p = Q_p \cdot 10^3 / F, \quad (5.7)$$

де Q_p – середньорічна витрата води в $\text{м}^3/\text{с}$;

F – площа водозбору в км^2 ;

10^3 – перевідний коефіцієнт з м^3 в л.

Шар стоку за рік Y – кількість води, що надходить з водозбору за рік, що дорівнює товщині шару, рівномірно розподіленого по площі водозбору.

Шар стоку за рік Y в мм обчислюється за формулою:

$$Y_p = W_p \cdot 10^6 / F, \quad (5.8)$$

де W_p – об'єм стоку за рік в км^3 ;

F – площа водозбору в км^2 ;

10^3 – коефіцієнт розмірності.

Шар стоку за місяць обчислюється за формулою:

$$H_j = Y_j = W_j / (F \cdot 10^3). \quad (5.9)$$

Звітний матеріал по виконаній роботі:

пояснювальна записка до роботи з виконаним завданням.

Контрольні запитання до роботи:

1. Які характеристики стоку води розраховувалися в цьому завданні?
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?

6 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

«ФОРМУВАННЯ ТАБЛИЦІ “ВИТРАТИ ВОДИ”»

Мета роботи:

сформувати таблицю щоденних витрат води за формою ТГ-2.

Завдання роботи:

підготуйте таблицю «Витрат води» за формою ТГ-2.

Алгоритм і приклад заповнення таблиці витрат води за формою ТГ-2 наведено нижче за текстом.

Вихідні дані для виконання роботи:

для обчислення основних характеристик стоку води за рік використовуються середньодобові витрати води, обчисленні для періодів при вільному руслі та в періоди року з льодовими явищами і зарослому руслі, а також основні характеристики стоку.

Пояснення до виконання роботи.

Таблиця «Витрата води» складається за формою ТГ-2 (табл. 6.1).

Необхідно в таблицю «Витрата води» (табл. 6.1) внести розраховані витрати води для періодів з льодовими явищами та при зарослому руслі та для періодів з вільним руслом. Крім того треба внести величину площі водозбору F в км², основні характеристики стоку води за рік та середні декадні і середньомісячні витрати води. Також визначаються та вписуються в таблицю найбільші та найменші витрати води для кожного місяця року та для року.

Звітний матеріал по виконаній роботі:

пояснювальна записка до роботи з виконаним завданням.

Контрольні запитання до роботи:

1. Що входить до складу таблиці «Витрата води»?
2. Як в таблиці «Витрата води» формуються щоденні витрати води?
3. Яким чином визначаються найбільші та найменші витрати води для кожного місяця та для року в таблиці «Витрата води»?
4. Для чого в таблиці «Витрата води» приведена площа водозбору?

Таблиця 6.1 – Витрата води, м³/с,

р. Ветьма – с. Круча, 2005 р.

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

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
За I декаду	7,09	6,25	4,82	6,63	11,2	9,90	9,87	8,41	7,31	6,63	9,90	9,87
За II декаду	6,45	5,64	5,39	38,6	7,96	10,2	11,1	8,01	7,20	7,06	10,2	11,1
За III декаду	6,65	4,81	13,6	25,2	8,23	8,76	7,89	7,39	7,13	7,39	8,76	7,89
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.												

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. Гриб О. М. Гідрометрія: Конспект лекцій. – Одеса: ОДЕКУ, 2014. – 56 с.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. III. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 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. Автоматизоване обчислення стоку хімічних речовин. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Автоматизація обчислення стоку хімічних речовин». / Іваненко О.Г., Даус М.Є., Гриб О.М. – Одеса, ОДЕКУ, 2004. – 37 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, 1981. – 700 с.
10. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. Учебник. Издание четвертое. – 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.

**ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**

ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ

“РІЧКОВА ГІДРАВЛІКА ТА ГІДРОМЕТРІЯ”

Блок змістовних модулів «Гідрометрія»

Напрямок підготовки “Гідрометеорологія”

Укладач: **Гриб Олег Миколайович**, к. геогр. н., доц.

Ум. друк. арк. 2,60

Електронне видання

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул. Львівська, 15
