

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Т. О. Шевченко, М. М. Яковенко

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни

«ІНЖЕНЕРНА ГІДРОЛОГІЯ»

*(для студентів 2 курсу денної та заочної форм навчання за спеціальністю
192 – Будівництво та цивільна інженерія
(спеціалізацією «Гідротехніка (Водні ресурси)»))*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017

Шевченко Т. О. Конспект лекцій з дисципліни «Інженерна гідрологія» (для студентів 2 курсу денної та заочної форм навчання за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія (спеціалізацією «Гідротехніка (Водні ресурси)»)) / Т. О. Шевченко, М. М. Яковенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 135 с.

Автори: канд. техн. наук, доц. Т. О. Шевченко,
ст. викл. М. М. Яковенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. В. Дегтяр

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 27.08.2015 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Змістовий модуль 1 Поняття про водні ресурси та режим вод суші.....	6
Тема 1 Кругообіг води в природі та водний баланс.....	6
1.1 Поняття гідрології та гідрометрії.....	6
1.2 Головні гідрологічні та гідрометричні характеристики річки.....	6
1.3 Кругообіг води в природі.....	8
1.4 Рівняння водного балансу.....	8
1.4.1 Випаровування.....	9
1.4.2 Опади.....	9
1.4.3 Стік.....	10
Тема 2 Річкова система, поняття про режим вод суші.....	11
2.1. Поняття річкової системи.....	11
2.2 Водозбірний басейн та його характеристики.....	11
2.3 Різновиди витоків та гирл річок.....	12
2.4 Характеристики річки в плані.....	12
2.5 Структура долини річки у повздовжньому профілі.....	14
2.6 Поперечний профіль долини річки.....	15
Тема 3 Гідрометричні спостереження та вимірювання.....	17
3.1 Вибір ділянки річки та місця для встановлення поста для гідрометричних спостережень.....	17
3.2 Улаштування, обладнання та нівелювання поста. Відкриття поста. Обов'язки спостерігача.....	23
3.3 Перенесення водомірного поста.....	23
Тема 4 Загальні поняття про гідрометрію.....	25
4.1 Головні відомості про режим рівня води й сутність водомірних спостережень.....	27
4.2 Принципи влаштування водомірних постів.....	30
Тема 5 Типи і пристрої водомірних постів.....	32
Тема 6 Визначення розрахункових гідрологічних характеристик.....	57
6.1 Загальні поняття про методи визначення гідрологічних характеристик.....	61
6.1.1 Визначення розрахункових гідрологічних характеристик за наявності даних гідрометричних спостережень.....	62
6.1.2 Річний стік води річок та його внутрішньорічний розподіл.....	65
6.1.3 Максимальний стік води річок весняної повені та дощових паводків.....	65
6.1.4 Мінімальний стік води річок.....	66
6.1.5 Найвищі рівні води річок і озер.....	66
6.1.6 Визначення розрахункових гідрологічних характеристик у разі недостатності даних	

гідрометричних спостережень.....	67
6.1.7 Визначення розрахункових гідрологічних характеристик у разі відсутності даних гідрометричних спостережень.....	68
Змістовий модуль 2. Гідрометрія. Гідрологічні розрахунки.	
Озера і болота.....	78
Тема 7 Поняття про гідрологічні прогнози.....	78
7.1 Прогнози рівнів та витрат води в річках.....	79
7.2 Прогноз стоку за запасами води в руслах.....	83
7.3 Довгостроковий прогноз об'єму паводку (водопілля).....	85
Тема 8 Спостереження за рівнями води на посту.....	86
8.1 Склад та терміни спостережень.....	86
8.2 Спостереження на водомірному посту.....	88
8.3 Обробка результатів водомірних спостережень.....	89
8.4 Обробка стрічок самописця.....	91
8.5 Обчислення середніх добових рівнів.....	92
8.6 Складання річної таблиці та графіку коливань рівня.....	93
8.7 Спеціальна обробка рівнів.....	94
8.8 Графік зв'язку відповідних рівнів двох водомірних постів... ..	96
Тема 9 Поняття про методи визначення гідрологічних характеристик.....	97
9.1 Гідрологічні характеристики річного стоку.....	98
9.1.1 Шар середнього багаторічного поверхневого стоку.....	98
9.1.2 Річний шар стоку заданої забезпеченості.....	99
9.1.3 Шар повного (поверхневого і підземного) стоку за рік... ..	100
9.2 Гідрологічні характеристики внутрішньорічного стоку.....	102
9.3 Максимальний стік.....	103
9.3.1 Гідрологічні характеристики весняного водопілля.....	103
Тема 10 Організація гідрологічних спостережень.....	108
10.1 Вибір ділянки річки та місця для встановлення поста для гідрологічних спостережень.....	108
10.2 Топографічні та промірні роботи.....	111
10.3 Опис ділянки під час проведення гідрологічних спостережень.....	112
Тема 11 Взаємодія водних об'єктів та інженерних споруд.....	113
11.1 Гідротехнічні споруди.....	113
11.2 Вплив гідротехнічних споруд на режим водотоку.....	115
11.3 Вплив гідротехнічних споруд на інші абіотичні фактори довкілля.....	119
Тема 12 Поняття про водогосподарські розрахунки.....	120
12.1 Матеріали розрахунку водогосподарського балансу.....	120
12.2 Послідовність складання водогосподарського балансу для річкового басейну.....	131
Список використаних джерел.....	135

ВСТУП

Гідрологія – наука, яка вивчає гідросферу, зокрема океани, моря, річки, озера, болота, ґрунтові води, сніг та льодовики, вологу атмосфери, а також її властивості та процеси, що в ній протікають, і явища у взаємозв'язку з атмосферою, літосферою та біосферою.

Вода – головне джерело життя на Землі й розвитку людської цивілізації. З давнини життя людини пов'язане з водою. Вона широко використовується у промисловості, енергетиці, в сільському та рибному господарствах.

Гідрологія проводить облік водних запасів та водного балансу; встановлює розрахункові витрати за кожний місяць року, кожний сезон і рік, а також максимальні та мінімальні їхні величини, необхідні під час проектування та експлуатації водогосподарських об'єктів, вивчає питання випаровування, температурного й льодового режиму, стоку розчинених речовин, дає гідрологічні прогнози, вивчає руслові процеси та формування наносів, проблеми малих річок і внутрішніх морів.

Інженер – фахівець водного господарства повинен вміти правильно оцінювати водні ресурси й гідрологічний режим водних об'єктів, грамотно виконувати розрахунки, передбачувати не тільки близькі результати, але й віддалені наслідки втручання людини в природне середовище. Гідрологія тісно пов'язана з метеорологією, гідравлікою, геоморфологією, геологією та іншими науками.

У цьому курсі вивчається гідрологія суші, яка розглядає поверхневі води (річки, озера, болота), явища і процеси, що в них відбуваються, а також закономірності, з якими ці процеси розвиваються. Особливу увагу приділено інженерній гідрології, що розробляє методи гідрологічних розрахунків і прогнозів, на підставі даних гідрометрії.

Гідрометрія – це розділ гідрології, у якому розглядаються методи спостереження за режимом водних об'єктів, пристрої та прибори вимірювання характеристики, що застосовуються при цьому, а також способи обробки результатів їхніх вимірювань.

Мета вивчення курсу – отримати знання про фактори та закономірності формування поверхневого стоку, режимах річок, озер, боліт, головні методи водогосподарських розрахунків, навчитися застосовувати ці методи під час проектування та експлуатації водогосподарських об'єктів і гідротехнічних споруд на них, аналізу та оцінці результатів досліджень і розрахунків.

Освоєння курсу передбачає послідовне пророблення матеріалу відповідно до програми курсу. У процесі роботи з літературою студент складає конспекти, перевіряє засвоєння матеріалу за питаннями для самоконтролю, паралельно з вивченням окремих розділів складає письмові контрольні роботи, спочатку з гідрології, а потім, як продовження, розрахунково-графічну роботу з вивчення та розрахунку регулювання стоку.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ПОНЯТТЯ ПРО ВОДНІ РЕСУРСИ ТА РЕЖИМ ВОД СУШІ

ТЕМА 1 КРУГООБІГ ВОДИ В ПРИРОДІ ТА ВОДНИЙ БАЛАНС

1.1 Поняття гідрології та гідрометрії

Гідрологія – це наука, що вивчає природні води, тобто явища і процеси, що в них протікають, а також закономірності, за якими ці явища і процеси розвиваються.

Гідрометрія – розділ гідрології, в якому розробляються методи вивчення природних вод, а також способи вимірювання параметрів водних об'єктів (швидкості, глибини, рівні тощо).

Гідрологія поділяється на такі розділи:

- гідрометеорологія;
- гідрологія поверхневих вод суші;
- гідрологія океанів і морів;
- гідрологія підземних вод.

Будівництво транспортних споруд здебільшого пов'язане з застосуванням законів руху поверхневих вод – *гідрологією суші*.

1.2 Головні гідрологічні та гідрометричні характеристики річки

Для розроблення проектів транспортних споруд, що підлягають дії водного потоку, потрібно зібрати гідрологічні дані, які мають характеризувати режим водотоків. Кількісні оцінки елементів гідрологічного режиму називаються *гідрологічними характеристиками*.

Гідрологічні характеристики:

1. *Витрата води* – це кількість води, що протікає за одиницю часу через поперечний переріз водотоку (Q , м³/с). Необхідно знати розрахункову максимальну витрату, витрату води заданої вірогідності перевищення. Окрім визначення витрат при високих рівнях води, необхідно встановити розподіл витрат між руслом та заплавами. За витратою води призначають розміри отворів труб і мостів.

2. *Рівень води* (H , см). Розглядають рівні води характерні та розрахункові. До характерних рівнів належать *рівень високих вод* (далі – РВВ), *рівень меженних вод* (далі – РМВ).

Межень – сезонне стояння низьких (меженних) рівнів води в річці, яке щорічно повторюється. У помірних і високих широтах розрізняють *літню* та *зимову* межень. Рівні меженних вод найбільш важливі для правильної організації робіт з будівництва мостових споруд.

Розрахунковий рівень високих вод (далі – РРВВ) заданої вірогідності перевищення необхідний для розрахунку відміток проїзду по мосту, підмостових габаритів. Необхідно мати дані про рівні води, щоб призначити відмітку бровки насипу.

3. *Глибина потоку*. Вона визначає відмітки закладення фундаментів опор, впливає на величину воронки розмиву у проміжних опорах моста.

4. *Льодові явища*. Споруда має бути розрахована на дію льоду. Для цього потрібно знати *рівні льодоходу та першого переміщення льоду*, а також *товщину льоду*. За рівнями льодоходу та переміщення льоду розраховують опори на тиск льоду. *Розміри льодяних полів* враховуються під час призначення положення та розмірів прольотів моста. Ці дані необхідні для проектування льодорізів і організації пропуску льоду. Строки настання льодоходу необхідно враховувати під час будівництва, щоб призначити послідовність і час виконання окремих видів робіт.

5. *Швидкості потоку і напрям течії*. Їхнє значення та напрям при РВВ та РВВВ диктують глибину закладення фундаментів опор. Вони впливають на укріплення підхідних насипів. Поле швидкостей визначає комплекс заходів з управління русловим процесом. Для правильного розміщення споруд у плані, наприклад, мостового переходу, необхідні дані про *напрямок течії*.

6. *Ухил водної поверхні* – це відношення різниці відміток рівня води на ділянці, що розглядається, до довжини цієї ділянки. Повздовжні ухили вільної поверхні та шорсткість – ці характеристики необхідні для визначення витрат на заплавах та в руслі. Швидкість потоку визначається за такою формулою:

$$V = m \cdot i \cdot h^{\frac{2}{3}}, \quad (1.1)$$

де m – коефіцієнт рівності;

i – ухил водної поверхні;

h – середня глибина потоку.

Відповідно до рівняння нерозривності потоку

$$Q = V \cdot \omega, \quad (1.2)$$

де ω – площа живого перерізу.

7. *Висота і сила набігаючих хвиль*. Під час проектування підхідних насипів та захисних дамб, для забезпечення захисту відкосів насипів і дамб від хвильової дії потрібно мати дані про висоту і силу набігаючих хвиль.

8. *Наноси та русловий процес*. Наявність цих відомостей необхідна для правильного вибору компонування споруд мостового переходу, прогнозування розмивів, а отже, відміток підшви фундаментів опор. Необхідно враховувати зміну русла річки у плані та глибини води у поперечному профілі водотоку протягом строку служби споруди.

9. *Кліматичні характеристики*. Відомості про опади та їх річний розподіл, швидкості та напрями вітрів, температурний режим використовуються для визначення розрахункових гідрологічних характеристик.

Експлуатація споруд також залежить від гідрологічних особливостей річки. Усі ці характеристики отримують на місці споруди, що проектується, шляхом безпосередніх натурних вимірювань, а також у гідрометеостанціях, розташованих неподалік від споруди, що проектується. Через те, що дані,

отримані гідрометеослужбою, розраховані за тривалий період, то за допомогою чітко розробленої методики проводять їхню обробку з метою визначення максимальних, мінімальних або усереднених значень.

1.2 Кругообіг води в природі

Близько 70 % площі землі займають океани та моря. Опади частково випаровуються, частково проникають в ґрунт, а найбільша їхня кількість (до 40%) формується в струмки та річки. Розрізняють *малий кругообіг* (океан – випаровування – опади – океан) і *великий кругообіг* (океан – випаровування – хмари – опади над суходолом – поверхневий і підземний стік) (рис. 1.1).

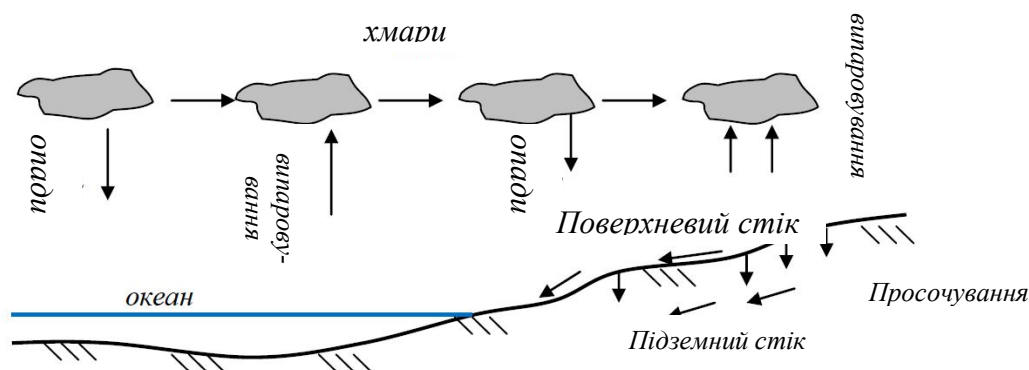


Рисунок 1.1 – Схема великого кругообігу води

Території, з яких вода стікає в річки, що впадають в океан, називаються *стічними областями*. Території, в межах яких річки впадають у водойми, що не з'єднуються зі Світовим океаном, називаються *безстічними областями* (Аральське та Каспійське моря, озеро Байкал).

1.3 Рівняння водного балансу

Схему кругообігу води на землі виражають таким рівнянням водного балансу:

$$Z_0 + Z_c = X_0 + X_c, \quad (1.3)$$

де Z_0 , Z_c – середньорічний об'єм **випаровувань** із поверхні океанів та суходолу відповідно;

X_0 , X_c – середньорічний об'єм **опадів**, що випадають в океан і на суходіл відповідно.

Складнішу структуру має водний баланс окремого річкового басейну. Там баланс порушується через невідповідності надземної та підземної площ живлення, нерівномірність випадіння осадів у різні роки. Рівняння водного балансу для басейну буде мати такий вигляд:

$$X_{\text{сеп}} = Y_{\text{сеп}} + Z_{\text{сеп}}, \quad (1.4)$$

де $X_{\text{сер}}$, $Y_{\text{сер}}$, $Z_{\text{сер}}$ – відповідно середні багаторічні величини осадів, стоку і випаровування. Значення цих величин не можна розглядати як абсолютно незмінні через те, що змінюється клімат, на них впливають результати діяльності людини. Під час проектування дорожніх водопропускних споруд використовують рівняння водного балансу періоду формування максимального стоку.

1.3.1 Випаровування

На водний баланс впливають кліматичні умови. У середньому близько 2/3 опадів у вигляді пару повертаються в атмосферу. Унаслідок *конденсації* водяні пари перетворюються у воду.

Випаровування – фізичний процес відриву молекул рідини від її вільної поверхні. Воно як результат теплового руху молекул визначається температурою води, температурою та тиском парів над її поверхнею. Як показали вимірювання, випаровування з суходолу проходить значно повільніше, ніж із поверхні водойми.

1.3.2 Опади

Кількість опадів, що випадають у тому чи іншому районі, залежить від таких факторів:

- широти місцевості;
- відстані від океану (із віддаленням від океану кількість опадів зменшується);
- висоти над рівнем моря (зі збільшенням висоти місцевості вона зростає до деякої межі, а потім знову падає);
- наявність лісу збільшує кількість опадів (ліс сприяє вертикальному руху повітря, утворенню хмар та збільшенню випаровування);
- рельєфу місцевості (маси повітря, піднімаючись уздовж схилів гір, охолоджуються та конденсують вологу).

За своїм походженням спостерігають три типи опадів:

- *циклонічні*, що утворюються на лінії перетину поверхонь розділу областей теплового та холодного повітря з поверхнею землі;
- *конвективні*, що утворюються шляхом конденсації вологи у верхніх шарах атмосфери;
- *орографічні*, що утворюються внаслідок охолодження теплих мас повітря під час піднімання вгору гірськими схилами.

Головними характеристиками опадів є інтенсивність та тривалість їхнього випадіння. Опади зазвичай нерівномірні у часі їхнього випадіння.

Інтенсивність – кількість опадів, що випала за одиницю часу, яку визначають товщиною шару води (мм/хв.).

Під час проектування малих мостів (завдовжки до 25 м) і водопропускних труб необхідні дані про властивості випадіння опадів протягом доби і навіть

годин. У разі проектування великих і середніх мостів достатньо відомостей про річну нерівномірність опадів.

1.3.3 Стік

Стік – рух води по поверхні землі, в ґрунтах, що її підстилають, і гірських породах. Тривалість його розраховують від моменту зародження потоку до впадіння в океани та моря. На цьому шляху частина води йде на випаровування, а також на просочування в ґрунт.

Механізм утворення стоку такий:

1. Затримання води рослинністю.
2. Зволоження ґрунту.
3. Насичення поверхневого шару та заповнення нерівностей водою.
4. Інфільтрація води у верхньому шарі ґрунту.
5. Початок руху надлишків води схилами рельєфу басейна.
6. Початок руху води у ґрунтах або підземний стік.

Процеси стоку змінюються залежно від клімату, рослинності, інтенсивності випадіння опадів, рельєфу місцевості та інших особливостей. Є такі гіпотези походження і поповнення підземних вод:

– *інфільтраційна гіпотеза*, відповідно до якої походження та поповнення підземних вод відбувається шляхом інфільтрацій атмосферних опадів, талих вод, вод поверхневих водойм та водотоків. Вперше була висловлена М. Вітрувієм Полліоном у I ст. до н. е.;

– *ювенільна гіпотеза* (лат. Juvenalis – юний) пояснює походження підземних вод як результат їхнього виділення під час застигання та дегазації магми.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення гідрології та гідрометрії як наук. Наведіть головні гідрологічні та гідрометричні характеристики річки.
2. Як відбувається кругообіг води у природі?
3. З чого складається рівняння водного балансу? Наведіть головні фактори, які впливають на водний баланс океану та річок.

ТЕМА 2 РІЧКОВА СИСТЕМА, ПОНЯТТЯ ПРО РЕЖИМ ВОД НА СУХОДОЛІ

2.1 Поняття річкової системи

Уся територія суходолу поділяється на річкові басейни. Межі річкових басейнів називаються *водорозділами*. *Річкова система* – це сукупність усіх річок, що впадають у головну річку, яка розглядається (рис. 2.1). Річкова система включає в себе одну головну річку та декілька притоків. Річки, які безпосередньо впадають у головну річку, називаються *притоками 1 порядку*. Річки, що впадають у притоки 1 порядку, називаються *притоками 2 порядку* тощо.

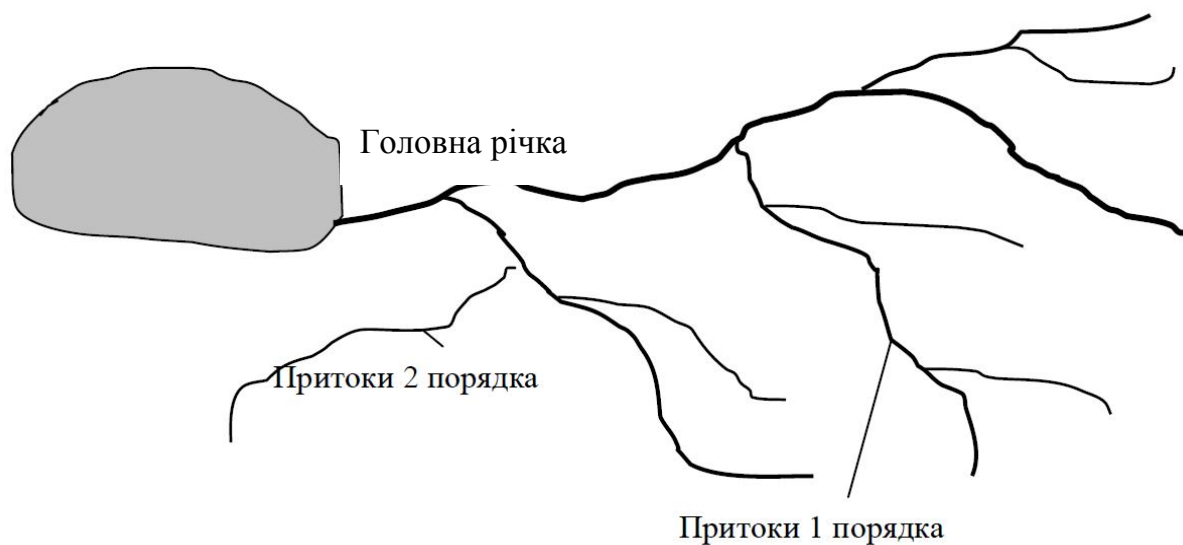


Рисунок 2.1 – Схема річкової системи

2.2 Водозбірний басейн та його характеристики

До кожної річкової системи прилягає територія, з якої опади стікають поверхнею тільки в цю річну систему. Такі території називаються *водозбірними басейнами*. В окремих випадках у середині басейнів, розташованих на плоских рівнинних ділянках, знаходяться площі значних розмірів, які не мають стоку в головну річку. Вода, що надходить у вигляді опадів, витрачається на випаровування та живлення підземних вод і йде за межі басейну. Такі безстічні області не можуть бути включені у водозбірну площу річки. Поправки на присутність безстічних областей враховуються за допомогою спеціальних коефіцієнтів (заозеренності, залісенності). Головними геометричними характеристиками басейну є його площа та форма. Басейн буває *симетричним* і *несиметричним* відносно до водотоку. Чим симетричніше та компактніше басейн, тим більше максимальна витрата за інших рівних умов. Річки залежно від площі басейну поділяються на великі, середні та малі. До *малих річок* належать річки з площею водозбірного басейну не більше 100 км². Серед

середніх виокремлюють річки з басейнами, що розташовані в одній географічній зоні. До *великих* річок належать річки з басейнами, що займають декілька географічних зон.

2.3 Різновиди витоків та гирл річок

Постійні водотоки мають виток та гирло (устя). *Виток* – це місце, де з'являється постійна течія в руслі. Річки можуть витікати з озера. У такому разі витокком вважається місце перетину річки з берегом озера (наприклад, р. Ангара у Росії). Річки можуть витікати з болота. Витокком тут вважається місце з помітною течією (наприклад, р. Волга у Росії). Витокком може бути таке:

- місце виходу підземних вод;
- нижня частина льодовика, що тане;
- місце злиття двох річок.

Гирло або устя – місце впадіння річки в море, озеро або іншу річку. На гирловій ділянці річки може бути *дельта*. Назва «дельта» походить від назви четвертої букви грецького алфавіту Δ через її схожість, у давнину така назва вперше була дана дельті річки Ніл. За наявності дельти у річки за устя (гирло) приймається устя найбільш повноводного (головного) рукава. Утворення дельти ускладнює морські припливи та відливи. Широкі розмиті русла в місці впадіння річки в море утворюють *губу* або *естуарій* (Південний Буг). Одним із різновидів естуарію являються *лимани*, в яких море затоплює гирлову частину долини, оскільки берегова полоса її виявляється опущеною. Устя у вигляді лиманів мають річки Кубань, Дністр тощо. Деякі річки не мають устя (у посушливих областях), їх вода з часом просочується або випаровується, так що річка зменшується в розмірах. Усі ці особливості мають бути враховані під час проектування автомобільних доріг.

2.4 Характеристики річки в плані

Довжина річки вимірюється відстанню від витoku (джерела) до устя (гирла) уздовж *фарватеру* – лінії максимальних глибин.

Звивистість річки та її *розгалуженість* оцінюється такими відповідними коефіцієнтами:

- коефіцієнт звивистості

$$k = \frac{L_p}{L_{в.л.}}, \quad (2.1)$$

де L_p – довжина річки (рис. 2.2);

$L_{в.л.}$ – довжина за повітряною лінією (рис. 2.2).

У разі великої протяжності річки

$$k_u = \frac{\sum k_{ui} \cdot L_{pi}}{\sum L_{B.L.i}}, \quad (2.2)$$

де L_{pi} – довжина ділянки річки за повітряною лінією, в межах якої зберігається загальний напрям течії (рис. 2.3);

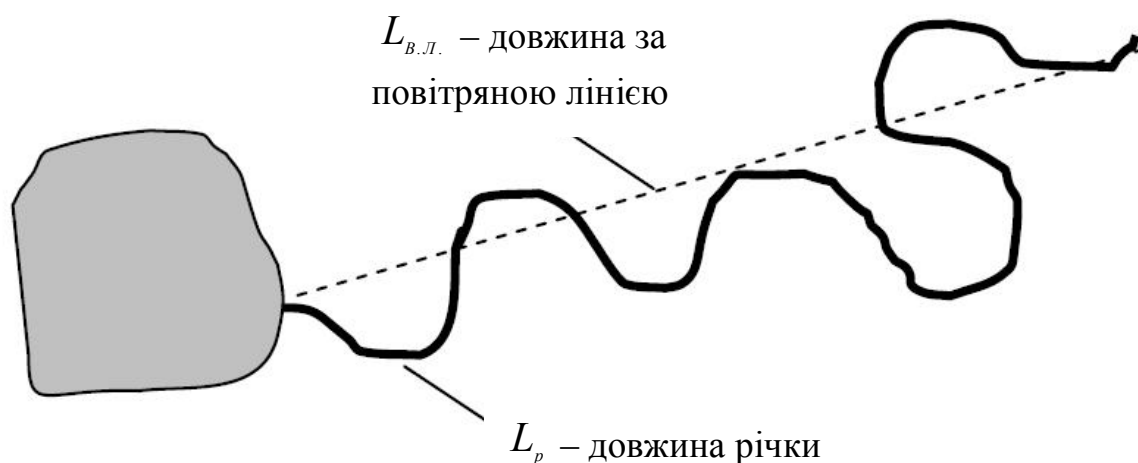


Рисунок 2.2 – Визначення коефіцієнту звивистості

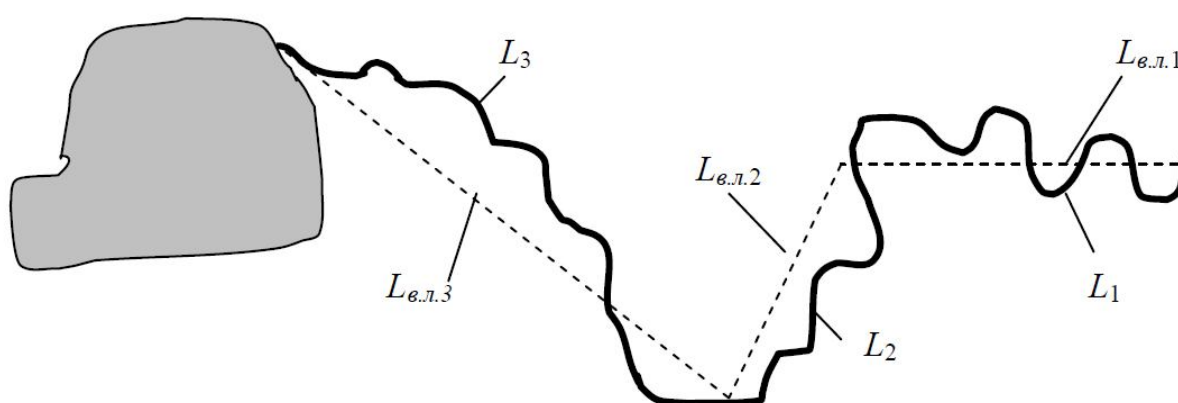


Рисунок 2.3 – Визначення коефіцієнту звивистості у разі великої протяжності річки

– коефіцієнт розгалуженості

$$k_p = \frac{L_{рук}}{L_{гол. русла}}, \quad (2.3)$$

де $L_{рук}$ – довжина рукавів річки;

$L_{гол. русла}$ – довжина головного русла.

2.5 Структура долини річки у повздовжньому профілі

Річкові долини здебільшого утворені під час тектонічних деформацій земної поверхні або під час руху давніх льодовиків. Однак під дією води, що тече, процес формування річкових долин продовжується. Розглянемо структуру річки у повздовжньому профілі (рис. 2.4).

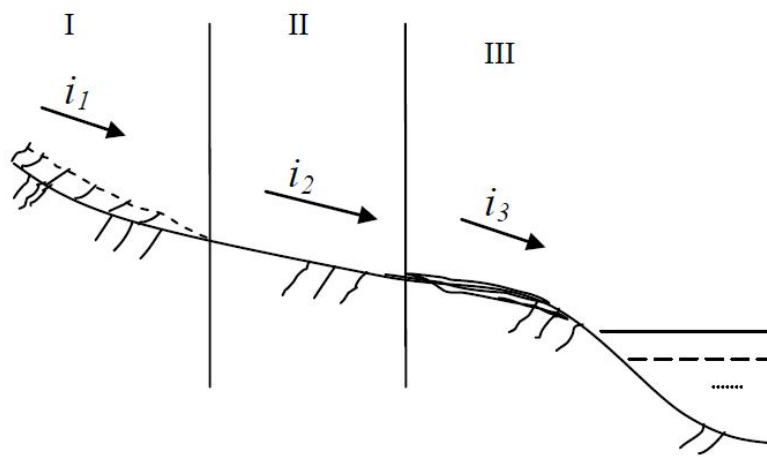


Рисунок 2.4 – Структура річки у повздовжньому профілі:
I – зона ерозії; II – зона транзиту; III – зона акумуляції наносів

У **зоні ерозії** (зоні верхньої течії річки) дно річки характеризується великими повздовжніми ухілами і потік має значну швидкість, щоб розмивати ґрунт й виносити продукти розмиву вниз за течією. Унаслідок виносу наносів відбувається поступове зменшення ухилу та пониження дна, тобто

$$\frac{di_1}{dt} < 0. \quad (2.4)$$

Зона середньої течії (зона транзиту) річки має зазвичай добре розвинуту пойму, часто порізану староріччями, озерами й болотами. Положення дна практично не змінюється, швидкості потоку вже менші, ніж нерозмивальні, але ще достатньо великі, щоб наноси осідали. Вони осідають на локальних ділянках, утворюючи перекати.

$$\frac{di_2}{dt} = 0 \quad (2.5)$$

У зоні нижньої течії (**зона акумуляції наносів**) ухили та швидкості настільки малі, що частина наносів відкладається на дно річки. У цьому рахі ухил дна зростає:

$$\frac{di_3}{dt} > 0. \quad (2.6)$$

Нижня ділянка річної долини називається *конусом виносу*, якщо відкладення наносів підняті вище навколишньої місцевості. Через акумуляцію

наносів утворюється дельта річки. Дельти зазвичай далеко виступають в море, наприклад, дельта р. Волги має протяжність 375 км, а в дельті Неви розташоване м. Санкт-Петербург. Розподіл долини річки в повздовжньому профілі не є обов'язковим. Може бути відсутньою зона транзиту. На притоках головних річок часто відсутня зона акумуляції.

2.6 Поперечний профіль долини річки

Розглянемо поперечний переріз річки, властивий II і III ділянкам річної долини (рис. 2.5).

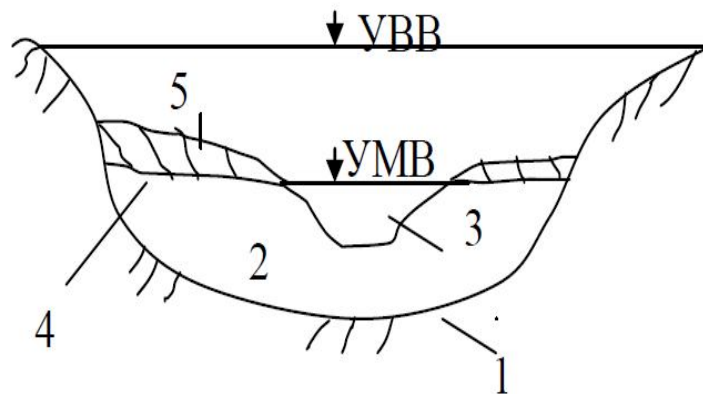


Рисунок 2.5 – Поперечний переріз річки, властивий II і III ділянкам річкової долини:

1 – корінний берег; 2 – шар наносів алювію; 3 – меженне русло;
4 – заплава; 5 – намулок заплави

Долиною річки називають порівняно вузьке, сильно витягнуте в довжину заглиблення земної поверхні з більш-менш широко розсунутими боковими скатами та слабо нахиленим у повздовжньому напрямі дном.

1. *Корінний берег* – верхня бокова частина долини, утворена не річковими наносами, а корінними породами, що становлять прилеглу до долини місцевість. Порооди первинної поверхні річкової долини, утворені у давньому геологічному процесі.

2. *У поперечних розрізах* середньої та нижньої ділянки річкової долини завжди можна побачити шар наносів – алювію, тобто частинок ґрунту, що принесені водою.

3. *Меженне русло* – найбільш понижена частина дна – долини, якою тече річка у низьку воду. Зі змивом рихлих ґрунтів верхньої ділянки зменшувався винос наносів вниз за течією. Унаслідок цього на ділянках, що лежать нижче, поступово припинялося відкладення наносів, а водний потік вривався в товщу алювію, утворюючи у такий спосіб русло.

4. *Заплава* – це частина долини поза руслом, що залишилася. Вона затоплюється періодично за дуже високих паводків та повеней.

5. *Намулок заплави* – на цьому етапі перенос наносів здійснюється тільки в руслі. Під час максимальних стоків деяка кількість наносів виноситься на заплави та відкладається у місцях із малими швидкостями, утворюючи намулок заплави.

На рисунку 2.6 наведено схему поперечного перерізу долини річки.

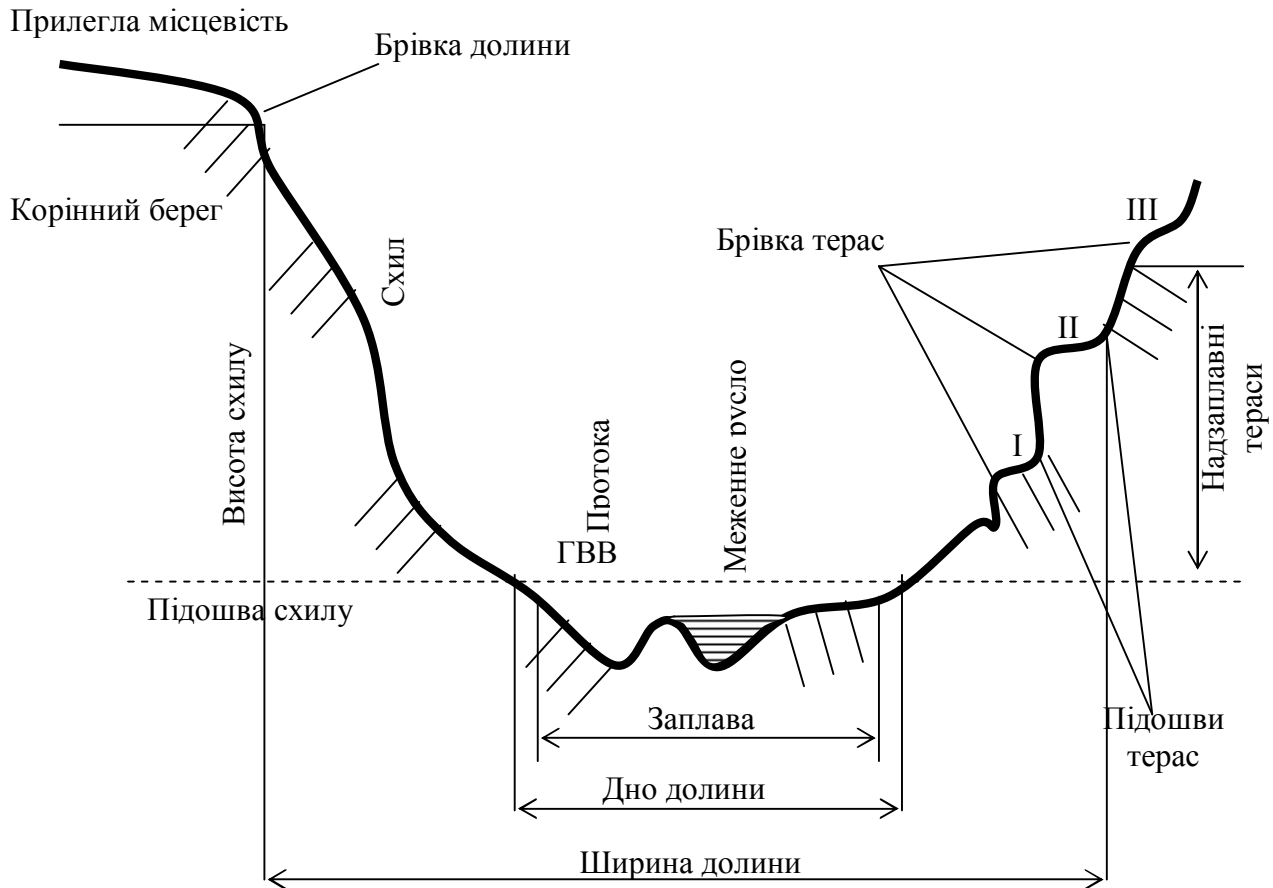


Рисунок 2.6 – Схема поперечного перерізу долини річки

Тераси – широкі уступи (сходи) із більш-менш горизонтальною поверхнею, що тягнуться вздовж схилу долини й становлять залишки давнішого дна долини; долина може мати декілька терас, підрахунок їх починається від річки вгору за схилом.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення річкової системи та наведіть її схему.
2. Дайте визначення водозбірного басейну та наведіть його характеристику.
3. Наведіть головні різновиди витоків та гірл річок.
4. Приведіть головні характеристики річки у плані.
5. Наведіть схему долини річки у повздовжньому профілі, дайте її опис.
6. Наведіть схему долини річки у поперечному профілі, дайте її опис.

ТЕМА 3 ГІДРОМЕТРИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ

3.1 Вибір ділянки річки та місця для встановлення поста для гідрометричних спостережень

Ділянка річки (озера, водосховища) і місце для встановлення постових пристроїв обираються залежно від поставлених цілей і задач спостережень. В усіх випадках необхідно прагнути того, щоб місце, обране для облаштування поста, віддзеркалювало особливості режиму рівнів цієї ділянки водного об'єкта.

На рівнинних річках ділянка, що намічається для встановлення посту, має бути без заплави, а за наявності її потрібно обрати найпрямішу та найвужчу заплаву з рівним рельєфом, без проток та стариць, вільну від деревної та чагарникової рослинності. Широких заплав варто уникати через те, що наявність заплави сильно ускладнює вимірювання витрати води. Річка на ділянці поста має протікати одним руслом, не розбиваючись на рукави і протоки. Русло повинно бути прямим, але варто мати на увазі, що на дуже довгих і широких ділянках великих річок, розташованих за напрямом пануваних вітрів, може бути викривлення ходу рівнів від згінно-нагінних явищ, що виникають під дією вітрів. У руслі річки не має бути осередків, островів та мілин, що спричиняють косоструйність течії, поперечні ухили, підпори, а також сприяють утворенню заторів і зажорів льоду. Русло річки повинно бути стійким, тобто не зазнавати розмиву або значного замулення, не повинно бути засмічено карчами і не заростати водною рослинністю (очеретом, тростником, рдестом), оскільки це ускладнює вимірювання витрат води.

Район розташування посту повинен знаходитися за межами розповсюдження підпору від притоків, штучних споруд і водоприймальника певної річки.

На ділянці не має бути лісних бірж та пристаней із великим вантадообігом, добування піску і гравію з річки, купальних пляжів, скидів промислових каналізаційних вод, які можуть викривляти природний режим річки та заважати роботі посту.

Під час вибору посту на гірських річках необхідно додатково до вказаних вище умов прагнути розташувати пост вище стремнин і порогів, там, де течія порівняно спокійна, русло річки не захаращене валунами й обломками скель, а також звернути особливу увагу на стійкість русла як у висотному, так і в плановому значенні. Необхідно мати на увазі, що і круті і дуже пологі береги незручні для встановлення поста та ускладнюють виконання спостережень; найзручніші береги середньої крутизни ($20 - 30^\circ$). На озерах і водосховищах значного розміру мережа водомірних постів має розташовуватися так, щоб данні вимірювань на них давали змогу розрахувати середній рівень, зокрема, в умовах денівеляцій, тобто використання рівневої поверхні під впливом вітру, стоку річок, які впадають в озеро й витікають з нього, скиду води з водосховища тощо.

Варто зважати на те, що на величину денівеляцій впливають морфологічні особливості будови котловини водойми та узбережжя (ізрізаність

берегової лінії, глибини, наявності мілководних заток тощо). Отже, у разі організації мережі водомірних постів на великому озері (водосховищі) необхідно попередньо вивчити причини коливання рівня води за різних умов. Спочатку намічений план розміщення мережі водомірних постів у подальшому має бути уточнений на підставі вивчення матеріалів спостережень, що будуть отримані у результаті роботи створеної водомірної мережі. Вивчення матеріалів спостережень дозволить також намітити пункти, які доцільно обладнати самописцями рівня для підвищення точності спостережень та врахування добового ходу рівня під впливом денівеляцій.

У разі пристрою постів на озерах та водосховищах особливу увагу варто приділяти захисту водомірних установок від руйнівної дії прибою та льоду. Обираючи місце для поту, що тільки відкривається, потрібно прийняти до уваги наявність населених пунктів у даному районі, засобів сполучення та зв'язку. Дотримання всіх цих умов практично не завжди можливо, але вони мають прийматися до уваги у разі вибору найраціональнішого варіанту.

Польові роботи під час вибору ділянки річки та місця для встановлення поста. Перед виїздом на рекогносцировочні обстеження річки або озера для вибору ділянки для гідрологічних спостережень необхідно попередньо ознайомитися з районом та ділянкою річки (озера) за літературними й архівними матеріалами та іншим джерелам. Рекогносцирувальне обстеження ділянки річки найзручніше виконувати у літній час за низького стояння рівнів води. Під час обстеження виконують такі роботи:

- а) загальний огляд ділянки річки для з'ясування її стану й особливостей гідрологічного режиму;
- б) виявлення змінного підпору;
- в) глазомірно-бусольну зйомку ділянки з вимірюванням глибин і визначенням швидкостей течії;
- г) опитування місцевого населення для виявлення особливостей режиму річки.

Загальний огляд ділянки. Обстеження ділянки починають з загального огляду, для чого корисно залучити обізнану людину з місцевих жителів, щоб мати можливість отримати від неї довідку про стан ділянки та особливості її гідрологічного режиму в періоди повеней та паводків, весняних та осінніх льодоходів, літньої та зимової межені. У процесі огляду необхідно виявити розміри й режим коливань рівня, загальні властивості течії річки, стан її меженого русла, ширину річки у межень та під час повіні, загальний стан її заплави, стійкість ложа річки і стан її берегів, заростання русла, наявність природних та штучних причин утворення перемінного підпору, наявність регулюючих перерізів (пороги, вузькі місця), ступінь мутності води в різні пори року, особливості льодоходів та льодоставу, можливість утворення заторів, зажорів та ополонів; для малих річок необхідно виявити можливість їхнього промерзання до дна взимку та пересихання влітку. Додатково до цього оцінюються умови берегу для встановлення водомірних пристроїв і ділянка річки загалом стосовно зручності проведення гідрологічних спостережень.

Виявлення змінного підпору на ділянці. Найскладніше завдання становить виявлення можливості та наявності **змінного підпору**, який, як і нестійкість русла річки, знижує точність гідрометричних вимірювань та ускладнює їхню обробку. Причинами виникнення змінного підпору можуть бути такі:

- а) штучне регулювання стоку річки греблею (дамбою), що розташована нижче ділянки, яка обстежується;
- б) природні коливання рівнів води притоків, які впадають нижче наміченого створу, або рівнів водоприймача (річки, озера, моря);
- в) тимчасові стиснення русла річки льодом (затори, зажори) або деревина, що сплавляється (запани, залом);
- г) деформації русла, які спричиняють значні зміни у дні;
- д) значне заростання русла безпосередньо нижче наміченого створу.

Дальність розповсюдження підпору від гідротехнічних споруд може бути визначена з матеріалів вишукувань та проекту споруд або опитуванням осіб, які обслуговують споруду, і місцевих жителів. Якщо відомостей не має, то дальність розповсюдження підпору може бути приблизно визначена за формулою

$$L = a \cdot \frac{h_0 + z}{I}, \quad (3.1)$$

де L – довжина ділянки розповсюдження підпору, м;

I – середній ухил водної поверхні за відсутністю підпору;

h_0 – середня глибина русла за відсутністю підпору, м;

z – підпір безпосередньо вище його джерела, м;

a – коефіцієнт, що залежить від співвідношення z/h_0 і визначається з таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнта a

Показник	Значення							
z/h_0	5,0	2,0	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05
a	0,96	0,91	0,85	0,76	0,67	0,58	0,41	0,24

Величини, які входять в формулу (3.1) беруть із матеріалів вишукувань, або вони можуть бути приблизно визначені на місці. Під час визначення дальності розповсюдження підпору, що виникає внаслідок природних коливань рівня води притоків або водоприймача, за величину z приймають повну амплітуду коливань рівня у водоприймачу (рис. 3.1).

Вірогідність появи змінного підпору від тимчасових стиснень русла, деформації дна та рослинності, а також його приблизну величину та дальність розповсюдження з'ясовують під час опитування місцевих жителів.

Зважаючи на можливість помилки під час розрахунку дальності розповсюдження підпору за формулою (3.1) і у разі визначення її за

опитуванням жителів, рекомендується для кінцевого використання встановлену межу розповсюдження підпору приймати з деяким запасом.

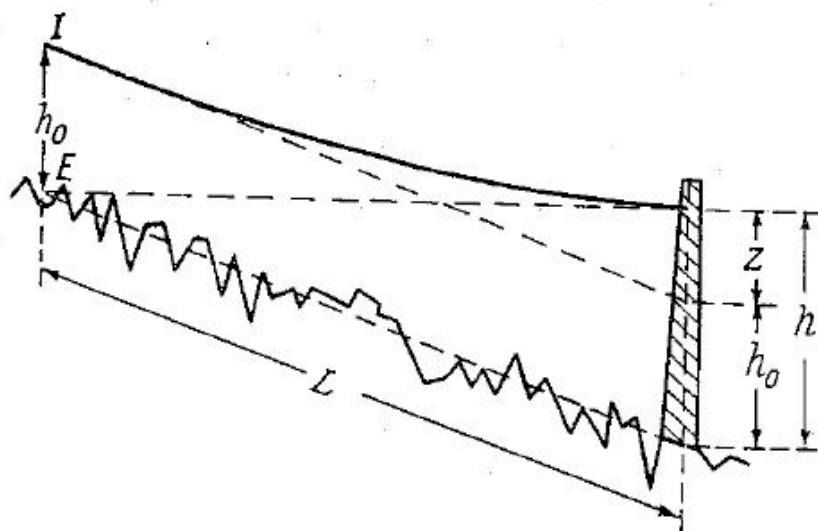


Рисунок 3.1 – Схема розповсюдження підпору

Якщо в районі, який намічено для установки поста, немає ділянок, вільних від змінного підпору, то в цих випадках завдання зводиться до знаходження такої ділянки, де змінний підпір виражений слабкіше та тривалість його найменша.

Для спостережень за режимом ухилів водної поверхні на такій ділянці необхідно встановити пости для вимірювання ухилів водної поверхні.

Топографічні та промірні роботи. Топографічна зйомка виконується безпосередньо після вибору ділянки. Мета цих робіт – отримати план ділянки з нанесеними на ньому планово-висотними характеристиками водного об'єкта та прилеглої до нього місцевості з вказівкою розташування постових пристроїв.

Об'єм топографічних робіт зі знімання ділянки залежить, з одного боку, від розмірів водного об'єкта, а з іншого – від складу робіт поста, що відврівається. Для більшості гідрологічних постів виконується напівінструментальна зйомка ділянки. Для постів на великих річках зі складним рельєфом русла та заплави напівінструментальна зйомка є попередньою; після облаштування всіх постових установок на таких станціях виконується інструментальна планово-висотна зйомка.

Напівінструментальна зйомка передбачає такі роботи:

- а) прокладання планово-висотної основи;
- б) нівелювання профілів та вимірювання глибин;
- в) вимірювання швидкостей та напрямів поверхневих течій;
- г) глазомірну зйомку ситуації та складання плану;
- д) опис ділянки.

Плановою та висотною основою знімання слугують магістраль і поперечники. Межі зйомки за шириною річки визначаються відмітками найвищого (історичного) рівня води, які мають бути вище нього на 0,5–1,0 м, а за довжиною – розмірами річки. Так, на річках шириною в межах до 100 м ділянка має дорівнювати п'ятикратній ширині річки, а на ширших річках – дво-

трьохкратній ширині меженного русла. На річках із широкими заплавами довжина знімання встановлюється залежно від особливостей заплави.

Якщо ділянка посту знаходиться не далі ніж у 10 км від реперу державної висотної мережі, то одночасно зі зйомкою виконується висотне прив'язування реперів поста, а план зйомки та профілі подаються у системі абсолютних відміток.

На підставі проведених робіт складається план ділянки та окремо викреслюються поперечні профілі русла за матеріалами вимірювальних робіт. Інструментальна топографічна зйомка ділянки проводиться в межах всієї ширини заплави річки й передбачає такі роботи у повному об'ємі:

- а) прокладання планової та висотної основ зйомки;
- б) нівелювання поперечних профілів через долину річки;
- в) вимірювання глибин;
- г) нівелювання миттєвого продольного профілю водної поверхні;
- д) мензульну або теодолітну зйомку рельєфу та ситуації долини, заплави і русла річки;
- е) визначення значень та напрямів швидкості течії;
- ж) складання опису ділянки річки.

Межі знімання та масштаби призначають з огляду на ті самі міркування, що й у разі напівінструментальної зйомки.

Опис ділянки. Головне завдання опису полягає в тому, щоб дати всі необхідні відомості для судження про найважливіші риси гідрологічного режиму річки, стан ділянки її у районі посту та умови гідрологічних спостережень. Опис у разі потреби ілюструється фотографіями, замальовками і схемами та має вміщувати такі дані:

а) загальні відомості про річку, озеро (найменування, басейн річки, довжина річки, площа зеркала озера, площа басейну);

б) загальні відомості про ділянку посту (на якому кілометрі від устя знаходиться, площа водозбірного басейну для певного створу, найменування посту, адміністративні характеристики місце розташування станції: країна, область, район, сільська рада, засоби зв'язку та зв'язок зі станцією і постом);

в) морфологічні та морфометричні характеристики ділянки (коротка характеристика долини та заплави річки із зазначенням ширини долини й заплави, особливостей схилів і дна долини, будови, рельєфу, ґрунтів та рослинного покриву заплави, форми обрису меженного русла в плані, особливостей берегів, ширини русла та розподілу глибин у ньому, ґрунтів дна, ступеня стійкості русла і берегів, заростання русла водною рослинністю, ухилів водної поверхні, загальних властивостей течії річки, швидкостей течії та їхнього напрямку);

г) головні характеристики водного режиму такі:

- загальні властивості коливань рівнів води протягом річного циклу з розподілом за сезонами року;
- властивості добового коливання рівнів;
- середня й найбільша амплітуда коливань рівнів;
- можливість пересихання та перемерзання русла;

– орієнтовні міркування про витрату води в межень та повінь.

д) характеристики зимового режиму такі:

– процеси замерзання та вскриття;

– характер льодоходу та льодостава;

– наявність внутрішньоводного льоду та шуги.

е) відомості про господарське використання річки (для водопостачання, сплаву, судоходства, зрошення, енергетики), коротку характеристику водогосподарських споруд та пристроїв, розташованих близько до ділянки посту, робота та експлуатація яких може впливати на режим річки.

3.2 Улаштування, обладнання та нівелювання поста. Відкриття поста. Обов'язки спостерігача

Улаштування та обладнання поста виконується на основі проекту, складеного за матеріалами польових робіт, які були виконані під час вибору й обстеження ділянки річки (озера). З постових пристроїв насамперед необхідно заложити реperi за дві–три доби до нівелювання. Нівелювання поста необхідно для визначення висотного положення нулів спостереження водомірних пристроїв (рейок, паль) відносно репера поста й нуля графіка. Нівелювання ведеться за IV класом від головного репера через контрольний подвійним хід – у прямому та зворотньому напрямках.

Розходження сум перевищень, отриманих за прямим і зворотнім ходом, має бути не більше $\pm 3\sqrt{n}$ мм (n – число стоянок інструменту за один хід).

Окрім позначок постових пристроїв, нівелюванням визначається висота робочого рівня у створі посту за кілком, який забито врівень із водою, а також позначки високих вод, якщо вони є в районі посту. Одночасно з нівелюванням робочого рівня відраховується рівень води за постовими пристроями.

Якщо пост обладнано самописцем, то, крім нівелювання контрольних постів, необхідно визначити позначки:

- 1) майданчика (столика), на якому встановлено самописець;
- 2) нижнього обрізу приймального резервуара (острівний тип установки);
- 3) закладення трубопроводу;
- 4) дна колодязя установки.

Одночасно з визначенням рівня за контрольними постами робиться засічка цього рівня на стрічці самописця. Результати нівелювання постових пристроїв записуються у нівелювальний журнал, де викреслюється також схематичний план нівелірного ходу. Отримані позначки постових пристроїв та їхнє приведення до нуля графіку переписують у технічну справу посту й у довідкову таблицю польової книжки. За результатами нівелювання викреслюють профіль поста.

Гідрологічні пости Гідрометеослужби постачаються приладами та обладнанням залежно від розряду (I, II або III) відповідно до «Типового табеля приладів та обладнання для гідрологічних постів». Для водомірних спостережень на постах свайного типу, зокрема, мають бути такі прилади та обладнання:

- рейка водомірна переносна,
- нівелір,
- рейка нівелірна,
- рівень, рулетка,
- рейка льодомірна,
- бур льодовий, намітка,
- рейка водомірна максимальна,
- термометр водяний у оправі,
- термометр-пращ,
- годинник настінний,
- ліхтар електричний або «летюча миша»,
- бланки книжок для запису водомірних спостережень.

На посту має бути човен.

Відкриття поста оформлюється актом, який складається представником організації, яка відкриває пост, і спостерігачем у присутності представника місцевої ради. За постановою Кабінету Міністрів України всі улаштування водомірного поста передаються під особливу охорону місцевій раді. Обладнання водомірного поста передається за інвентарним списком спостерігачу.

Під час відкриття поста складається технічна справа, у якій вміщується опис ділянки річки та постових пристроїв, указуються строки й місця спостережень. До справи надаються: план ділянки річки, профіль створу, замальовки, схеми. Для спостерігача складається інструкція.

Спостерігач на водомірному посту являється єдиним постійним робітником, і від якості його роботи залежить якість матеріалів спостережень посту. Спостерігача рекомендується обирати з місцевих жителів, пов'язаних у своїй діяльності з водним об'єктом, на якому розташовано пост.

3.3 Перенесення водомірного поста

Перенесення поста є вкрай небажаним через велику цінність тривалих спостережень в одному місці. Але з часом можуть виникнути обставини, за яких нормальна робота поста буде порушена, а передбачити їх під час його відкриття було неможливо. Це може виникнути у разі будівництва греблі, виведення зрошувального каналу, виправленні русла річки та інших заходах, які можуть значно змінити режим річки або перешкоджати проведенню спостережень. Одночасно з вказаним у районі ділянки поста з часом можуть відбутися значні зміни у будові русла й берегів у разі сильних повіней, та виникає загроза руйнування постових пристроїв. У таких випадках пост може бути перенесений на нове місце. Під час перенесення поста необхідно дотримуватись таких умов:

1) нове місце поста обирається якомога ближче до старого; задля збереження безперервності низки спостережень покази нового поста і старого мають бути ув'язані;

2) у разі перенесення поста на нове місце, яке характеризується зовсім іншим режимом рівня (перенесення поста з одного б'єфу гідровузла в інший, винесення за межі підпору тощо), ув'язувати покази постів не потрібно через те, що покази нового поста не будуть співставлятися з даними старого поста.

Для ув'язування спостережень нового і старого постів необхідно, щоб протягом деякого часу вони вели спостереження паралельно. Тривалість цих парних спостережень має бути не менше півроку, щоб охопити фази повені та межені.

Нуль графіка нового поста, спочатку тимчасово, може бути призначений приблизно, орієнтуючись на падіння водної поверхні між постами. Після побудови графіка зв'язки рівнів постів (рис. 3.2) нуль графіка нового поста переміщується (піднімається або опускається) так, щоб лінія зв'язку рівнів проходила через початок координат. На рисунку 3.3 приведення рівнів старого и нового постів дорівнює відріzkу AH , на розмір якого потрібно підняти нуль графіка нового поста. Після встановлення зв'язку рівнів постів та кінцевого положення нуля графіка нового поста спостереження нового поста будуть продовженням спостережень старого поста.

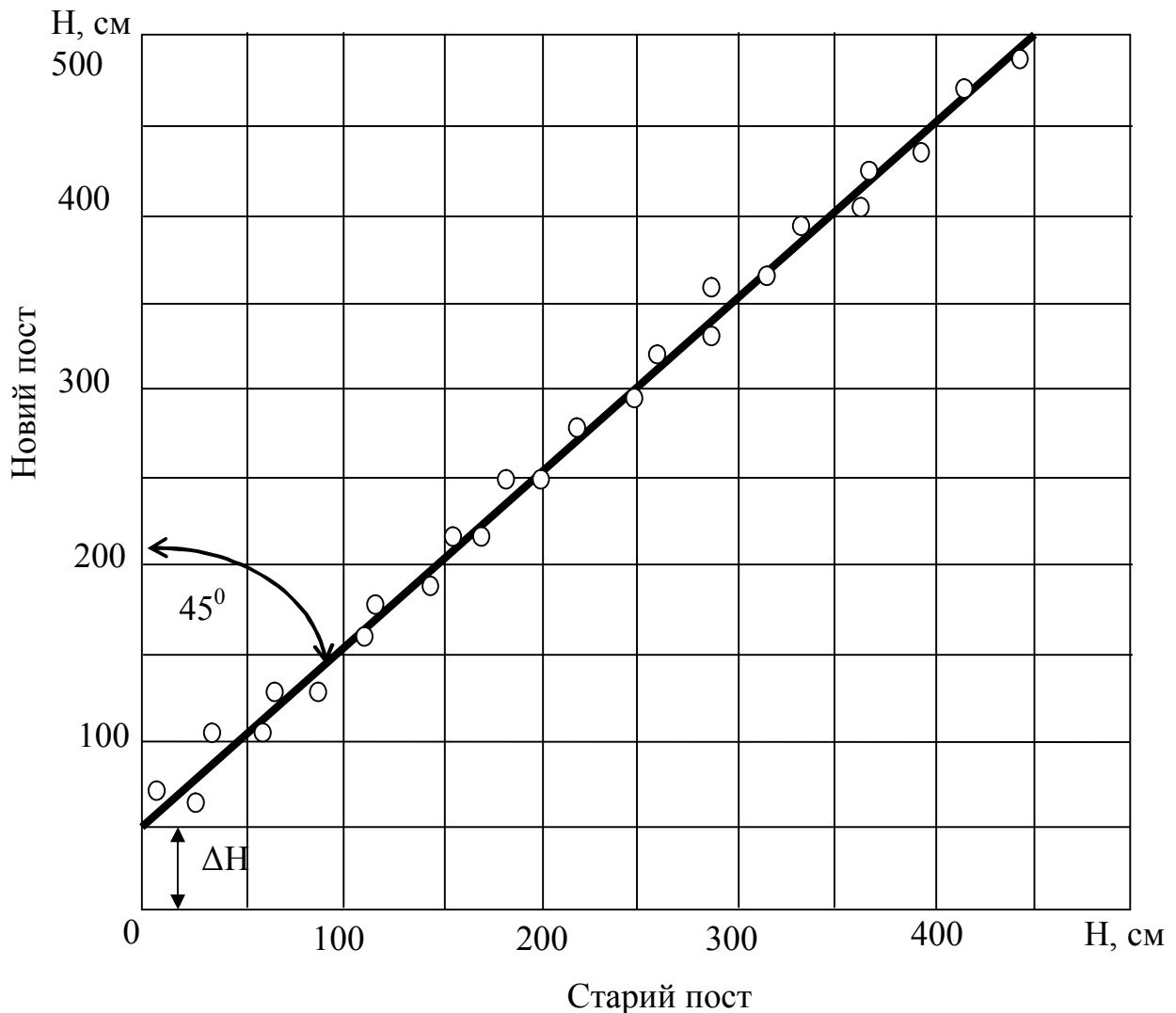


Рисунок 3.2 – Графік зв'язку рівнів старого й нового постів

Якщо графік зв'язку рівнів постів буде у вигляді прямої, яка проходить до вісей не під кутом 45° , то це означає, що режими рівня у попередньому та новому місцях різні. У цьому разі можна зробити перерахунок показів старого поста в систему показів нового поста за графіком знайденного зв'язку й у такий спосіб отримати безперервну низку спостережень за новим постом. Однак зазвичай у цьому разі низка спостережень вважається перерваною, і за результатами спостережень на новому пості складається окрема таблиця щоденних рівнів.

Питання для самоконтролю

1. У який спосіб обирається ділянка та місце розташування поста? Опишіть усі різновиди робіт із вибору місця розташування поста для гідрометричних спостережень.
2. У чому полягає улаштування, обладнання та нівелювання поста?
3. Назвіть причини, через які виникне необхідність перенесення поста.

ТЕМА 4 ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ГІДРОМЕТРІЮ

Гідрометрія (грец. *hydor* – вода і *metreo* – вимірюю) – розділ гідрології суходолу, який займається вимірюванням елементів гідрологічного режиму, засобами та приладами цих вимірювань, а також методами обробки отриманих результатів, їхнього збору, зберігання і публікації.

Гідрометрією також називається сукупність методів визначення величин, які характеризують рух і стан рідини та режим водних об'єктів.

До завдань гідрометрії належать вимірювання:

– рівнів, глибин, рельєфу дна та вільної поверхні потоку; напорів і тиску; швидкостей та напрямів течії рідини; пульсацій швидкостей і тиску; елементів хвиль;

– гідравлічних ухилів; мутності потоку (концентрації наносів); витрат води, наносів та гідросумішей; елементів, які характеризують термічний та льодовий режими потоків тощо.

До головних гідрометричних робіт на річках, озерах, водосховищах належать:

– облаштування гідрологічного поста й організація регулярних вимірювань рівня та температури води, каламутності води, рН і мінералізації, спостереження за атмосферними явищами та погодою протягом усього періоду практики;

– нівелювання поперечного профілю долини та розрахунок максимальної витрати води під час повені у поточному році;

– геодезична зйомка ділянки річки та вимірювання глибин із засічками традиційними методами;

– вимірювання глибин із визначенням місцезнаходження промірних точок із застосуванням GIS-технологій, побудова плану ділянки русла у ізобатах та горизонталях;

- визначення дійсного положення гідрометричного створу за допомогою вимірювача напряду течій та поверхневими поплавками;
- вимірювання витрати води у річці за допомогою вимірювача швидкості потоку (далі – ВШП) та поверхневими поплавками;
- вимірювання витрати завислих насосів та насосів, які несе течія;
- гідробіологічне обстеження ділянки річки;
- рекогносцировочне обстеження русла річки та її заплави;
- спостереження за замерзанням та вскриттям водотоків, станом льодового покриву;
- визначення механічного складу наносів та донних відкладень.

Результати гідрометричних робіт широко використовуються для розвитку теоретичних основ гідрології та методів гідрологічних розрахунків і прогнозів.

Рівень води в річках вимірюється над нулем посту та над рівнем моря (для території країн СНД рівень моря відраховується від нуль-пункту гідрометричного поста міста Кронштадт, Балтійське море (РФ)).

Гідрологічний пост – пункт на річці, озері, водосховищі, болоті, обраний із дотриманням відомих правил та обладнаний для виконання систематичних спостережень, збору інформації за визначеними програмою та методикою.

Річкові гідрологічні пости ведуть спостереження за рівнем, температурою води, льодовими утвореннями та льодовою обстановкою, за розповсюдженням водної рослинності, вимірюють витрати води та виконують метеорологічні спостереження.

Відповідно до водного об'єкта, на якому облаштовано пост, він називається річковим, озерним, на водосховищі або болотним. Річковий гідрологічний пост, на якому враховується стік води, називається витратним, а пост, де ведуться спостереження тільки за рівнем води, – рівнем. Гідрологічні пости бувають I-го, II-го і III-го розрядів.

Гідрологічні пости першого розряду ведуть спостереження за рівнем і температурою води, льодовими утвореннями й льодовою обстановкою, за поширенням водної рослинності, вимірюють витрату води і проводять метеорологічні спостереження за програмою метеорологічних постів I-го розряду, за вказівкою станції проводяться спостереження за поздовжнім похилом водної поверхні, на окремих постах ведуть спостереження за витратою наносів.

Гідрологічні пости II-го розряду ведуть спостереження за програмою постів I-го розряду за винятком витрат води й наносів.

Гідрологічні пости III-го розряду ведуть спостереження за рівнем і температурою води, крижаними утвореннями й льодовою обстановкою.

Крім річкових гідрологічних постів, є озерні гідрометеорологічні пости I-го і II-го розрядів, які ведуть спостереження за гідрометеорологічним режимом озер: рівнем і температурою води, льодовими явищами, товщиною льоду і снігу на льоду, вітром, хвилюванням тощо.

Гідрологічні пости мають водомірні пристрої, за допомогою яких виконуються вимірювання рівня води, і репера, призначені для систематичного

контролю висотного положення цих пристроїв. За конструкцією водомірні пристрої підрозділяються на такі типи:

1. Рейкові – становлять рейку, укріплену на надійно забитій у ґрунт палі, на устю мосту, облицюванні набережної або природній вертикальній береговій скелі. Довжина рейки, що прикріплюється до палі, 1–2 м. Розмір поділок на рейці – 1–2 см. Відліки рівня води за рейкою беруть на око з округленням до 1 см. Терміни спостереження: 2 год., 8 год., 14 год., 20 год.

2. Пальові – ряд паль, вбитих у дно та берег річки або водойми; абсолютні висоти верху кожної палі визначені, від них ведуться відліки рівня води за допомогою переносної водомірної рейки.

3. Рейково-пальові – змішані водомірні пости, що становлять комбінацію рейкового поста з пальовим. На таких постах фіксація високого рівня робиться за палям, а низьких рівнів – за рейкою; передавальні (положення рівня яким-небудь чином передається до реєструючої частини приладу) і автоматичні дистанційні рівнеміри. Найпоширенішим передавальним водомірним пристроєм є самописець рівня води (далі – СРВ) (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Tide Master (Тайд Мастер) – універсальний самописець рівня води

4.1 Головні відомості про режим рівня води й сутність водомірних спостережень

Головні відомості про режим рівнів води. Кількість (об'єм) води, що тече в річках і знаходиться в озерах, болотах, ґрунтах і ґрунтах земної поверхні, безперервно змінюється. Відповідно до зміни кількості води рівні поверхонь водних об'єктів також безперервно змінюються. Особливості цих коливань визначається впливом низки факторів, що обумовлюють багаторічні, річні, сезонні й добові коливання. Багаторічні коливання рівнів пов'язані з періодичними коливаннями клімату внаслідок порівняно тривалих змін у режимі загальної атмосферної циркуляції. Спостерігаються у зв'язку з цим

тривалі похолодання чи потепління й супутні їм зменшення або збільшення опадів, вологості та випаровування викликають збільшення або зменшення стоку води, а отже, підвищення або зниження рівнів води в річках, озерах, болотах і рівнів підземних вод.

Багаторічні коливання рівнів води можуть бути викликані також геологічними причинами (підняття або опускання дна водоймища) і ерозійно-аккумулятивною діяльністю річок. Так, наприклад, у верхів'ях гірських річок спостерігається безперервний процес глибинної ерозії (розмив) русла, унаслідок чого абсолютні відмітки середніх багаторічних рівнів цих річок мають стійку тенденцію до зниження. Ці зміни не пов'язані зі зміною кількості води.

Річні коливання рівня води визначаються здебільшого метеорологічними умовами певного року, тобто кількістю опадів, що випали на території водозбору, температурою та вологістю повітря і вітрами, що визначають втрати вологи на випаровування. Розміри втрат води на інфільтрацію (просочування) в ґрунти зазвичай залежать від їхнього складу, а також від геологічної та геоморфологічної будови басейну, але вони пов'язані також із метеорологічними умовами, особливо в осінній та весняний сезони. У роки з рясним зволоженням рівні в річках, озерах, болотах і близьких від поверхні підземних вод стоять вище, ніж у сухі роки. Унаслідок повільного руху води в порах ґрунтів коливання рівнів глибоких підземних вод відображають вплив метеорологічних умов певного року тільки через 1–2 роки.

Сезонні коливання рівня води в річках, озерах, болотах визначаються насамперед географічним положенням їхнього водозбірного басейну і його фізико-географічними умовами. Безпосередньо впливають на хід рівнів в окремі сезони кліматичні умови, зокрема розподіл опадів всередині року. Саме цією обставиною обумовлюється весняне (березень–квітень) водопілля на річках України, у басейнах яких кількість зимових опадів становить близько 30 % їхньої річної суми, на відміну від далекосхідних річок інших країн, де найбільше водопілля спостерігається влітку (липень–серпень) через те, що 90–95 % річних опадів тут випадає влітку.

Сезонні коливання рівнів залежать також від висоти рельєфу басейну та від його лісистості, заболоченості та наявності озер. У гірських річок і озер, що живляться від танення високогірних снігів і льодовиків, найвищі рівні зазвичай спостерігаються в липні. Крім того, гірським річкам властива велика кількість паводків від дощів. Вплив лісистості, заболоченості та наявності озер басейну річки виражається в згладжуванні та вирівнюванні ходу рівнів за окремими сезонами року.

У літній період коливання рівнів води в річках можуть бути зумовлені розвитком і відмиранням водної рослинності.

Сезонні коливання рівнів води в річках тісно пов'язані також із льодовими явищами. Так, майже на всіх річках у період замерзання спостерігається спочатку короточасний підйом рівнів унаслідок різкого зростання опору руху води в момент льодоставу, а потім зниження рівнів у зв'язку з переходом річок на ґрунтове харчування. Періодичні розмиви русла й

відкладення в ньому наносів при проходженні паводків, що особливо добре буває виражено у гірських річках, накладають додатковий відбиток на сезонні коливання рівнів води. Значний вплив на коливання рівнів води в річках і озерах можуть надавати гідротехнічні споруди та забір води на зрошення.

Добові коливання рівня води в пониззях річок можуть спричинятися припливами і згінно-нагінними вітрами. Виразно виражений добовий хід рівня спостерігається у невеликих річок із льодовиковим живленням унаслідок добової зміни метеорологічних елементів (сонячної радіації, температури повітря). Добовий хід рівня води спостерігається на малих річках під час випадання в їх басейнах дощів. Добові коливання рівня води властиві періоду осінніх і весняних льодоходів, на річках (або ділянках річок), де спостерігаються явища зажорів і заторів льоду, а також на сплавних річках у разі утворення заломів.

Вище заторів, зажорів і заломів рівень води різко піднімається, а нижче – настільки ж різко падає.

Значні добові коливання рівня води спостерігаються в нижніх б'єфах великих гідровузлів у зв'язку з роботою ГЕС за добовим графіком навантаження; найбільші рівні бувають під час пропуску максимальних витрат через турбіни в добовий період максимуму навантаження. У верхніх б'єфах гідровузлів добові коливання рівня менше виражені через значний обсяг води у водосховищі.

Колівання рівнів води за довжиною річок (від витoku до гирла) хоча і зберігають свої головні обриси, але значною мірою згладжуються з наближенням до гирла річок.

Цілі та головні завдання вимірювань та спостережень. Вивчення коливань рівнів води в річках, озерах, водосховищах, болотах і морях має велике наукове та господарське значення. Будівництво мостів, гребель, гідроелектростанцій, різних берегових споруд (пристаней, складів, водозабірних споруд), а також іригаційних каналів, доріг і населених пунктів уздовж русел річок не може бути раціональним без урахування режиму та можливих розмірів коливань рівня води в річках у районі розташування споруд. Наприклад, у разі неврахування гідрологічних умов побудований міст може бути перешкодою для судноплавства на річці в період високого стояння рівня або буде затоплятися разом із прилеглою до нього дорогою. Іригаційні канали, виведені з річки без достатнього вивчення режиму коливань її рівня, можуть у період межені опинитися без води. Берегові споруди та населені пункти можуть піддаватися руйнівній дії повеней і льодоходів. Вивчення коливань рівнів води у річках має велике значення для судноплавства.

Спостереження за рівнями на водосховищах необхідні для найраціональнішого використання їхніх водних ресурсів в інтересах усіх учасників водогосподарського комплексу: гідроенергетики, судноплавства, рибного господарства тощо. У гідрометрії спостереження за рівнями води річок мають особливо важливе значення для підрахунку стоку води. В основу підрахунку стоку покладено зв'язок між висотою рівня та витратою води в річці, який зазвичай встановлюється емпіричним шляхом.

Вимірювання витрати води – досить трудомістка і тривала операція, водночас як вимір рівня виконується легко і швидко, часто автоматично.

Встановлена на підставі порівняно невеликої кількості одночасних вимірів витрат Q і рівнів H залежність $Q = f(H)$ дає змогу визначити за спостереженими рівнями щоденні витрати води й підрахувати стік за рік чи інший період часу.

На основі багаторічних і безперервних спостережень за рівнем можна охарактеризувати режим рівнів досліджуваного водного об'єкта і, крім того, за залежністю між витратами й рівнями отримати уявлення про витрати води річки за різні за водністю роки.

4.2 Принципи влаштування водомірних постів

Спостереження за рівнями води на водомірних постах повинні бути організовані у такий спосіб, щоб матеріали спостережень:

- 1) за одним постом були порівнянні за весь період його дії;
- 2) допускали можливість зіставлення результатів спостережень за рядом постів, розташованих на одному водному об'єкті.

Ці вимоги можуть бути виконані за умови, що на всіх постах діятиме єдина система спостережень.

Кожен водомірний пост повинен складатися з:

- 1) водомірних пристроїв – засобів для вимірювання рівнів (рейок, паль, самописці);
- 2) постійних висотних знаків (реперів).

Рівні води, які спостерігаються на водомірних постах, повинні бути віднесені до умовної площини нуля графіка поста, висотна відмітка якої залишається постійною для всього періоду існування поста. Відмітка нуля графіка поста вибирається під час влаштування поста з таким розрахунком, щоб площа нуля графіка перебувала не менше ніж на 0,5 м нижче найнижчого рівня води в річці (озері), який можна очікувати в створі поста. Цим досягається те, що при низьких рівнях води відліки їх над нулем графіка будуть позитивними. На річках з нестійким руслом позначку нуля графіка поста необхідно призначати з урахуванням можливої глибинної ерозії (розмиву) русла.

За малих глибин русла відмітка нуля графіка може бути прирівнена до найнижчої позначки дна річки у створі поста або трохи нижче неї. За наявності ряду постів, розташованих на короткій ділянці річки (5–10 км), що має невелике падіння, доцільно для всіх постів призначити загальний нуль графіка. Загальний нуль графіка потрібно також призначати для всіх постів, розташованих на одному озері або водосховищі.

На водосховищах відмітка нуля графіка поста призначається на 0,5–1,0 м нижче проектного рівня спрацювання в приплотинній частині водосховища. В окремих випадках може виникнути необхідність зміни позначки нуля графіка. Зміна висотного положення площини нуля графіка проводиться у таких випадках:

- 1) перенесення посту на значну відстань;
- 2) невдалого первісного призначення позначки нуля графіка вище найнижчого рівня води;
- 3) різкої зміни режиму рівнів, наприклад у процесі створення водосховища.

Крім того, може виникнути необхідність змінити позначку нуля графіка у разі фактичної незмінності його висотного положення. Це буває у тих випадках, коли змінюються позначки постових реперів:

- 1) у разі переходу від умовної системи позначок до Балтійської;
- 2) у разі перерахунку відміток вихідних реперів органами державного спостереження;
- 3) після повторного нівелювання постових реперів, якщо при цьому виявляться розбіжності, що перевищують допустимі нев'язки нівелірного ходу.

Під поняттям «*нуль спостереження*» мається на увазі та висотна площина, від якої ведеться відлік рівня води в момент спостереження. Висотне положення нулів спостереження визначається перевищенням репера над майданчиками свай (або нулями рейок) поста. На рейковому водомірному посту – це площина нуля рейки, а на свай – площина (головка) свай, за якою в цей момент ведуть спостереження. На рисунку 4.2 нуль спостереження представлено площиною свай № 2.

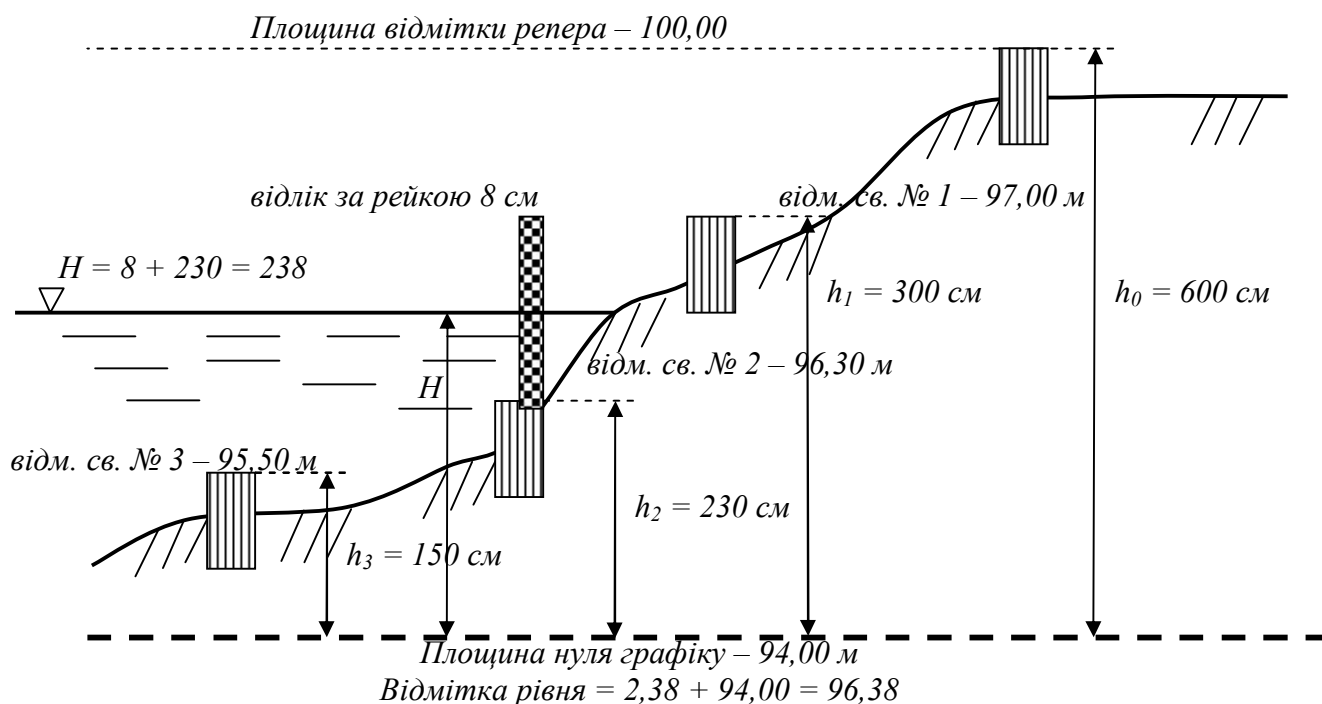


Рисунок 4.2 – Схема відміток та відліків на свайному водомірному посту

Отже, нуль спостереження, на відміну від нуля графіка, є не умовною, а речовою площиною. Положення нуля спостереження може змінюватися залежно від коливання рівня води й кількості рейок чи свай, встановлених на посту. Ці зміни можуть спостерігатися у разі ремонту та заміни рейок та свай.

Перевищення нулів рейок і голівок свай над нулем графіка поста, або, інакше, різниця їхніх висотних відміток, називається *приведенням цих рейок чи свай*. На рисунку 4.2 приведення свай № 1, 2, 3 відповідно h_1 , h_2 , h_3 . Для зручності обчислень рівнів над нулем графіка поста приведення виражають у сантиметрах.

Спостереження на водомірному посту можуть бути розпочаті тільки після того, як будуть виконані такі роботи:

- 1) призначена відмітка нуля графіка посту;
- 2) нівелюванням від репера поста встановлених відміток нулів рейок, а на свайному посту – площин (головок) свай;
- 3) обчислені (у сантиметрах) приведення всіх рейок (паль) над нулем графіку поста, тобто різниці відміток нулів рейок (площин паль) і позначки нуля графіка.

Спостереження за рівнями води на постах рейкового або свайного типу полягають у такому:

- 1) спостерігач записує номер рейки (палі), за якою він проводить спостереження, і робить відлік рівня води (на рейковому посту за постійною рейки, а на пальовому – переносна, яка встановлюється на площині палі), відлік рівня записується в сантиметрах;
- 2) за довідковою таблицею нівелювання відмітки встановлюється приводкою нуля рейки (палі), з якої було зроблено відлік рівня води;
- 3) обчислюється висота (у сантиметрах) рівня води над нулем графіку поста (наведений рівень) як сума відліку рівня за рейкою (палею) і приведення нуля цієї рейки (палі).

Схему відліку рівня над нулем графіка і нулем посту спостереження наведено на рисунку 4.2, де відлік рівня за переносною рейкою на сваї № 2 дорівнює 8 см, а відлік рівня над нулем графіку поста $H = (8 + h_2)$ см. Для отримання абсолютної позначки рівня води, потрібно до висоти рівня над нулем графіка додати абсолютну відмітку нуля графіка поста.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення гідрометрії та наведіть її головні завдання та головні різновиди гідрометричних робіт?
2. Які різновиди гідрологічних постів ви знаєте? Дайте їм характеристику.
3. Наведіть головні відомості про режим рівнів води.
4. У чому полягають цілі та головні завдання водомірних спостережень?
5. Наведіть принципи влаштування водомірних постів.

ТЕМА 5 ТИПИ ТА ПРИСТРОЇ ВОДОМІРНИХ ПОСТІВ

За конструкцією водомірних пристроїв пости поділяються на такі:

- 1) прості (рейкові, пальові, змішані);
- 2) передавальні;

3) самописці;

4) дистанційні, що реєструють рівень безперервно або в певні терміни та передають інформацію на значну відстань від місця вимірювання.

Водомірні пристрої повинні реєструвати рівень на 0,25–0,50 м вище й нижче крайніх історичних рівнів, виявлених за природними мітками або опитуванням місцевого населення. На зарегульованих річках зазначені вище межі встановлюються відносно найвищого та найнижчого проектних рівнів.

Прості водомірні пости нині широко поширені внаслідок нескладності пристрою та порівняно невисокій вартості. Відліки рівня на них виконуються під час відвідування поста спостерігачем. Ці пости дають досить точні відомості про режим рівня, якщо на водному об'єкті, де встановлений пост, немає яскраво вираженого добового ходу рівня.

Прості водомірні пости залежно від обладнання для спостережень за рівнем води поділяються на рейкові, пальові, змішані (рейково-пальові). Вибір того або іншого типу простого поста визначається розміром річної амплітуди коливання рівня, особливостями будови берега річки, наявністю мостів і гідротехнічних споруд та іншими місцевими умовами.

Рейковий водомірний пост є найдешевшим і найпростішим за влаштуванням і зручним для виконання спостережень. Пости цього типу влаштовуються на ділянках річок, де є умови, що забезпечують їхнє збереження від пошкодження хвилюванням, льодоходом, у разі сплаву лісу або судами. Рейкові пости найпоширеніші на річках, каналах і озерах із невеликими (до 2–3 м) річними амплітудами коливань рівнів води. На річках із великими річними амплітудами коливань рівнів води рейкові пости застосовують тільки в тому разі, якщо можна прикріпити водомірну рейку до мостової опори або гідротехнічної споруди.

Головною приналежністю рейкового поста є водомірна рейка. Постові водомірні рейки бувають металеві емальовані, чавунні та дерев'яні (рис. 5.1).

Дерев'яні рейки недостатньо міцні, а олійна фарба з них швидко змивається водою, тому на постійних постах рекомендується встановлювати чавунні рейки; ще зручніші металеві рейки з фарфоровими вкладишами або металеві емальовані рейки. В експедиційних умовах для обладнання тимчасових постів зручні стрічкові металеві рейки з наскрізними поділками. Стрічкові рейки рекомендується кріпити на обвуглених або пофарбованих чорною олійною фарбою дошках, брусах або палях.

Пости з вертикальною рейкою. На скельних берегах, біля мостів і гідротехнічних споруд водомірна рейка міцно прикріплюється у вертикальному положенні до обриву скельного берега, до набережної, устою моста, стінки шлюзу, греблі. Рейку закладають врівень у спеціально обраний у споруді паз. У разі небезпеки пошкодження предметами, що пливають річкою, рейка має бути огорожена відбійними брусами, укріпленими вище за течією. Біля греблі встановлюють дві рейки – одну для спостережень за рівнями води у верхньому б'єфі¹, а іншу – в нижньому б'єфі.

¹ Примітка. **Б'єфом** називається ділянка річки, що примикає до підпорної споруди; верхній б'єф – вище споруди, нижній – нижче неї.

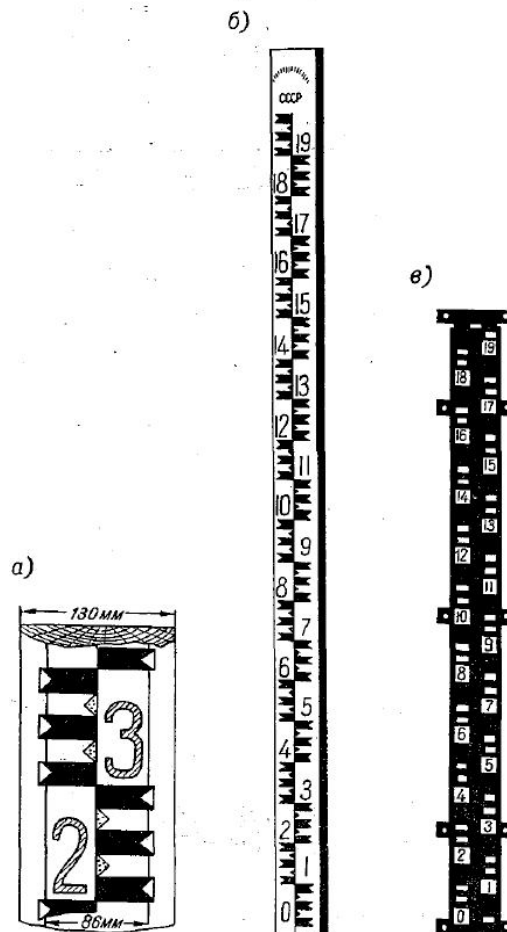


Рисунок 5.1 – Типи постових рейок:
а – дерев'яна; б – металева емальована; в – чавунна

За відсутності на ділянках поста мостів і гідротехнічних споруд водомірна рейка закріплюється на спеціально встановленій сваї або куці з трьох–п'яти паль, стягнутих хомутами. Рейка прикріплюється до палі за допомогою болтів. Для захисту рейки від пошкодження льодоходом, колодами й іншими плаваючими предметами, вона повинна бути захищена спеціальним огороженням – льодорізом (рис. 5.2.).

Пости з похилою рейкою (рис. 5.3). Цей різновид поста зручний тим, що його рейка краще захищена від ударів крижин та інших плаваючих предметів, а у разі великих швидкостей течії рейка, де відлік може спотворюватися впливом підпору від набігу води на палю із рейкою, розмічаються на ділення, що становлять $2/\sin\alpha$, де α – кут нахилу рейки до горизонту. У цьому разі одне ділення похилої рейки відповідатиме 2 см вертикальної рейки.

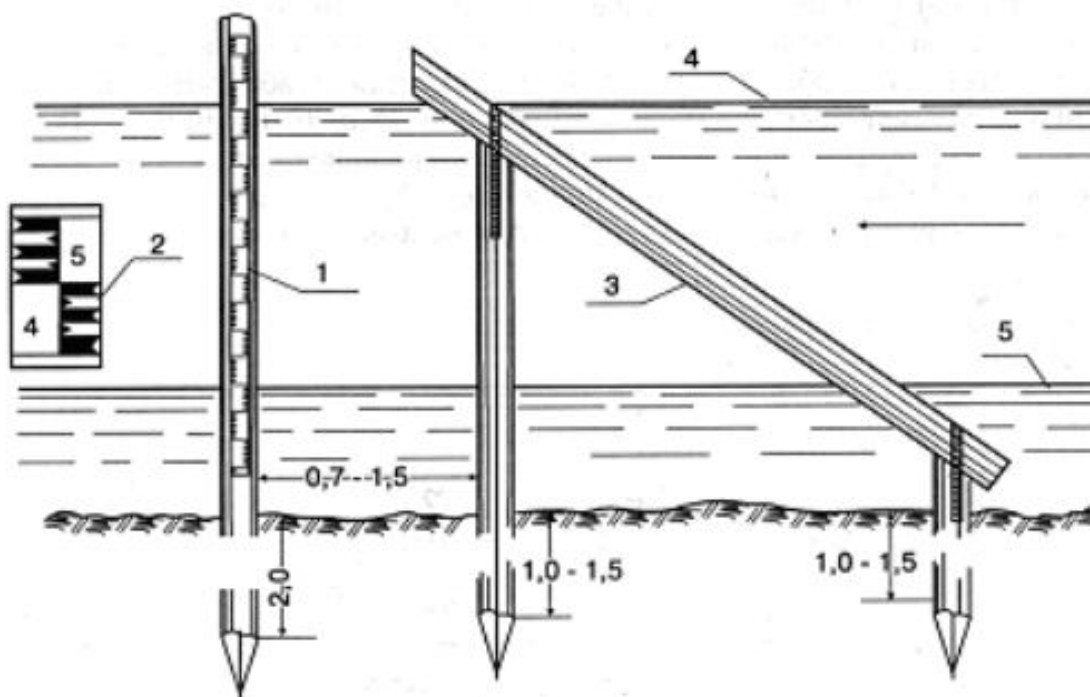


Рисунок 5.2 – Водомірний пост із вертикальною рейкою:
 1 – рейка, закріплена на палі; 2 – частина водомірної рейки;
 3 – огороження рейки; 4 – рівень високих вод; 5 – рівень низьких вод

Пальовий пост (рис. 5.4) найзручніший для рівнинних річок зі значною амплітудою коливань рівнів води. Водомірні сваї, що утворюють пост, встановлюють в одному створі перпендикулярно течії річки. Загальна кількість паль поста залежить від амплітуди коливань рівня води й від кута нахилу берегового укосу.

Площина (головка) верхньої палі поста повинна бути на 0,25–0,5 м вище найвищого історичного рівня води в річці, а площина нижньої сваї – на 0,5 м нижче найнижчого рівня. На пересихаючих річках нижня свая встановлюється вище найнижчої точки дна у створі поста не більше ніж на 10–15 см. Різниця висот площин двох суміжних паль має бути не більше 0,8 м, а горизонтальна відстань між палями встановлюється з урахуванням особливостей берегового укосу та зручності підходу до паль для виконання спостережень. Загальна кількість паль, необхідних для влаштування поста, та їхнє розміщення попередньо визначають за поперечним профілем берега, потім дані проекту поста переносять на місцевість.

На сьогодні пальові пости обладнають стандартними металевими гвинтовими сваями; довжина їх 220 см, діаметр 8 см. Нижня частина палі на 35 см має гвинтову нарізку, а верхня – завдовжки 15 см становить головку діаметром 10 см. На головці сваї з двох протилежних сторін зроблено плоскі зрізи, що слугують опорою для ключа, за допомогою якого паля загвинчується в ґрунт. Головка палі фарбується білою олійною фарбою, і на ній чорною фарбою з двох сторін надписується номер сваї. Палі поста нумерують за порядком зверху вниз від найближчої до репера палі, яка отримує перший номер.

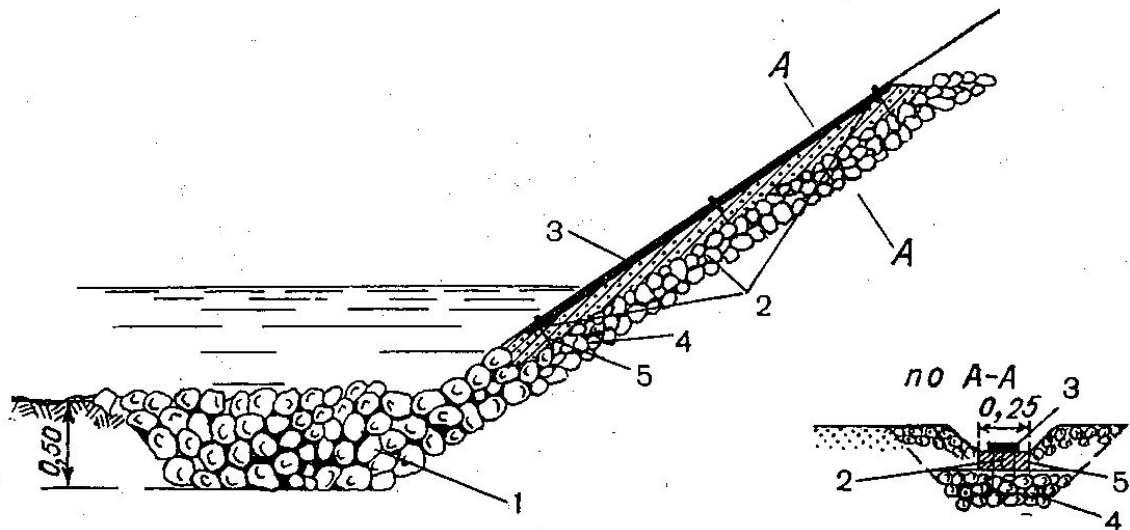


Рисунок 5.3 – Схема встановлення нахиленої рейки:

1 – упор із кам'яного накидання; 2 – опори рейки (зкладаються у разі влаштування щебеневої підготовки); 3 – рейка; 4 – щебенева підготовка; 5 – бетонна підготовка 10 см

Тимчасові палі за відсутністю металевих можна виготовляти з дерева міцних порід, які не піддаються гниттю. Для палей беруть відрізки колод діаметром 20–25 см. Довжина призначається залежно від характеру ґрунту і глибини його промерзання, але не менше 1,5 м. Нижній кінець дерев'яної палі затесується на три або чотири грані.

При забиванні палей у щільні ґрунти на загострений кінець палі надягають сталевий башмак. Уся палля обстругується і для запобігання гниття обсмалюється або злегка обвуглюється. Щоб уникнути розколювання та роздрібнення під час забивання її в ґрунт на верхній кінець палі надягають сталеве кільце – бугель.

Глибина забивання палей повинна бути такою, щоб нижній кінець палі заглибився не менше ніж на 0,5 м у шар ґрунту, що не промерзає, а в районах багаторічномерзлих порід – на таку саму глибину в шар ґрунту, що відтане, якщо він розташований не більше 2 м від поверхні.

Головки палей після забивання спилюють горизонтально нижче бугелю, залишаючи над поверхнею землі 10–15 см, а якщо є підстави побоюватися пошкодження палей льодоходом – 5–10 см. У центрі торця палі забивають цвях із напівсферичним капелюшком.

Якщо берег річки скелястий, то замість установки свай доцільніше зробити в скелі висічки у вигляді сідців. Горизонтальні майданчики сходів повинні бути достатнього розміру для проходження ними спостерігача, тобто не менше 20×30 см. У центрі майданчиків встановлюють металеві штирі, зацементовані у скелю.

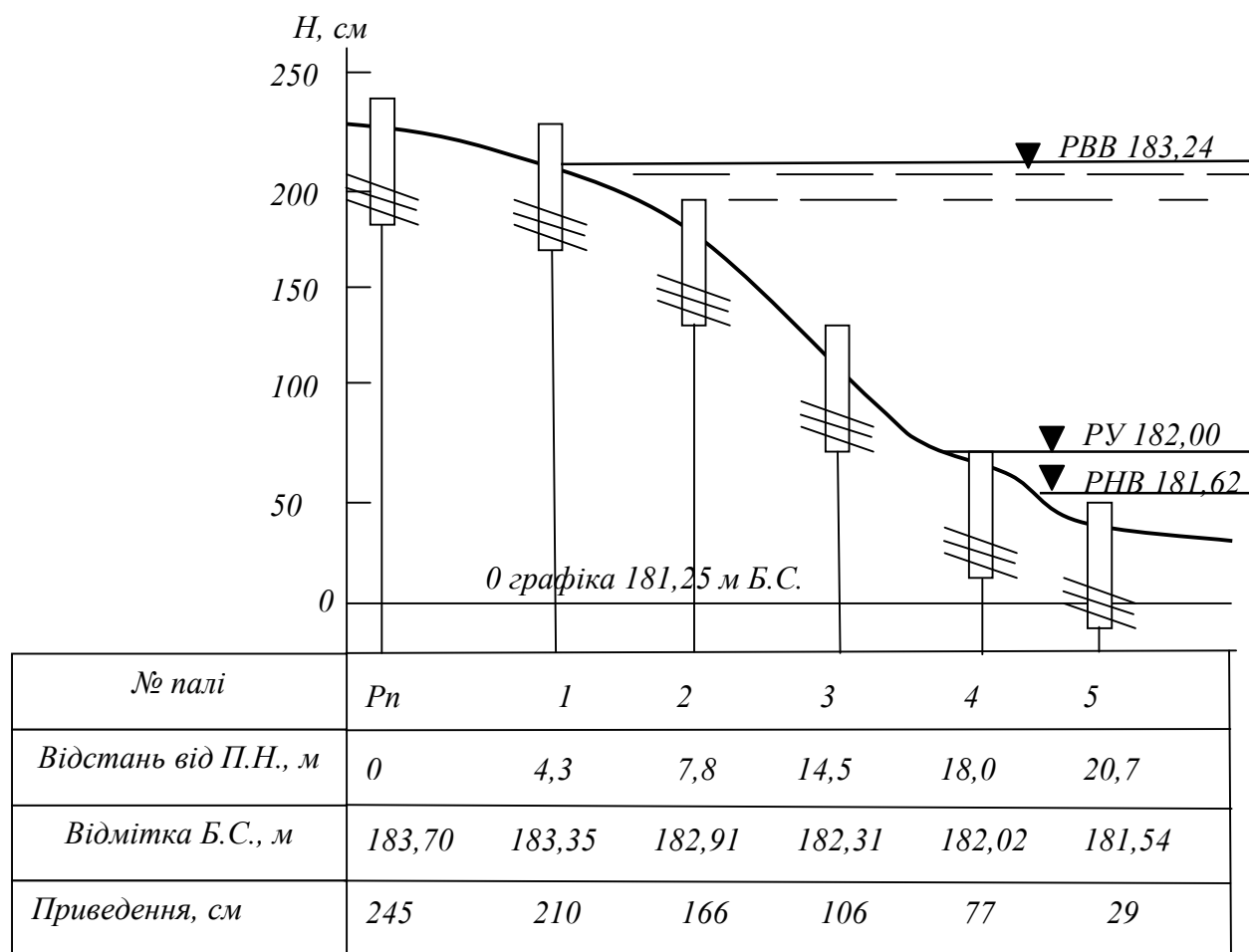


Рисунок 5.4 – Схема пальового водомірного поста

Усі палі поста нівелюються, отримують відмітку і приведення до нуля графіка поста. Висота рівня води в річці на пальовій посаді відраховується за допомогою переносної водомірної рейки, що встановлюється в центрі торця (на капелюшок цвяха) найближчої до берега затопленої сваї. Знаючи величину приведення палі, неважко обчислити висоту рівня води над нулем графіка посту.

Стандартна водомірна переносна рейка виготовляється з легкої металеві труби; рейка має довжину 100 см; ділення нанесені через 1 см.

Змішані пости. Тип змішаного посту виник із поєднання елементів рейкового та пальового постів. Рейково-пальові пости влаштовуються на ділянках річок, що мають різкі переломи схилів берега: на крутій частині встановлюється рейка, на пологій – паля. Пристрій змішаних постів доцільний за наявності споруд, наприклад мостів. На посту біля мосту рівні меженних вод спостерігають за палями, а рівні високих вод – за віссю рейки, яка укріплена на опорі мосту.

Передавальні пости влаштовуються в тих випадках, коли підхід до води ускладнено через прямовисні береги. Передавальний пост може бути споруджено на природному березі або гідротехнічному будівництві, якщо останнє є на ділянці посту.

Якщо в зимовий час водойма (річка, озеро) покривається льодом, то на додаток до передавального посту необхідно влаштовувати рейковий або пальовий пост для спостережень за рівнями в зимовий період.

Залежно від місцевих умов передавальні пости бувають різних видів.

Мостовий пост. Якщо на місці установки посту є міст або інша споруда, повністю або частково розташована над річкою, то влаштувати пост нескладно. На мосту міткою закріплюється постійна точка (нуль спостереження) для відліку рівня. Висотне положення цієї точки визначається нівелюванням від найближчого репера. Спостереження за коливаннями рівнів полягають у вимірюванні відстані від точки нуля спостереження на мосту до поверхні води. Вимірювання можуть проводитися за допомогою розміченого тросу або сталевою рулеткою з вантажем на нижньому кінці. За невеликих відстаней вимірювання зручно робити розміченою рейкою.

Тросовий пост. Пост цього різновиду влаштовується найчастіше на гірських річках, коли берег обривистий, а штучних споруд на річці немає. Головною частиною посту є винесення (стріла), пристрій якого видно на рисунку 5.5. Винесення виготовляється з бруса міцної породи (дуб, сосна) або зі сталевої труби. Воно зміцнюється на березі на міцних опорах. На береговому кінці винесення нерухомо закріплюється горизонтальна водомірна рейка завдовжки 1 м, нульовий розподіл якої звернений у бік річки. На кінці винесення, що звернено до річки, зміцнюється блок, а на береговому його кінці – змія, на яку намотується гнучкий трос, що проходить уздовж рейки через блок до води. На нижньому кінці троса підвішується циліндричний вантаж з загостреним у вигляді конуса кінцем вагою 2–5 кг.

Для відліку рівня води трос розмічається мітками через 1 м на довжину, що дорівнює амплітуді коливань рівня. Метрові поділки відзначаються кільцями з вибитим номером метру. Для того, щоб відлік за рейкою давав безпосередньо висоту рівня над нулем графіка, виконують тарування посту. До тарування рейка залишається незакріпленою, точніше її положення встановлюється під час тарування.

Тарування проводять так: за допомогою нівелювання визначають перевищення рівня води над нулем графіка посту. Відразу після цього опускають трос до торкання вантажем поверхні води, а рейку зрушують вздовж винесення до положення, при якому найближча мітка на тросі збігається з поділом рейки, що дорівнює кількості сантиметрів у значенні перевищення рівня води над нулем графіка; мітка на тросі буде відповідати числу метрів у значенні перевищення рівня над нулем графіка, і на ній вибивають це число. Інші мітки троса нумерують поспіль із зростанням значень у бік води. Із закінченням тарування рейку міцно закріплюють.

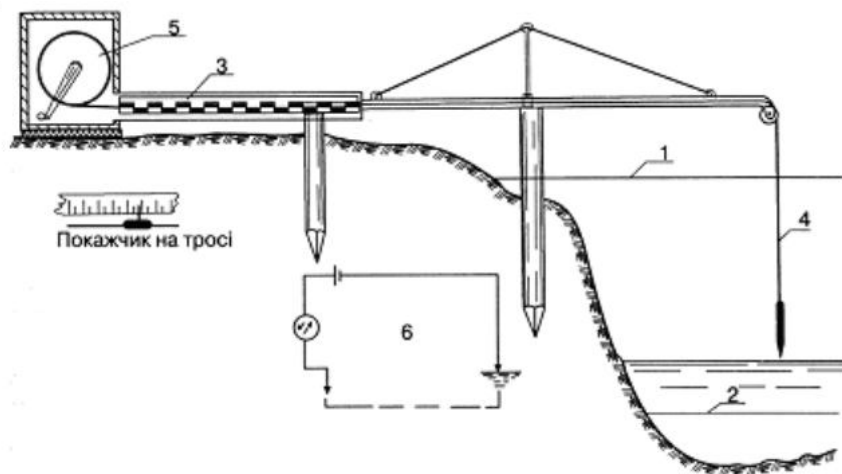


Рисунок 5.5 – Схема передавального поста:

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

За невеликої амплітуди коливань рівня води, близько 2–3 м, установку зручно забезпечити рейкою завдовжки 2,5–3,5 м, що дозволить визначати рівень безпосередньо за рейкою проти показника, укріпленого на тросі. Точність відліку рівня на передавальних постах 2–3 см, у разі застосування електроконтакту точність підвищується до 1 см. У цьому разі трос з вантажем, який є однією ланкою електричного ланцюга, повинен бути ізольований від заземлення, а інший кінець електричного ланцюга надійно заземлений. Місце прикріплення троса до вушка вантажу має бути припаяно, а вістря вантажу вкрите полудою. Фіксація торкання вантажем поверхні води проводиться по амперметра або вольтметра. Для живлення електричного ланцюга застосовують батарейку від кишенькового ліхтаря.

Передавальний пост з автоматичним показчиком і відмітчиком рівня води. Передавальний пост може бути обладнаний досконалішим способом, а саме установкою спеціального приладу – показчика рівня.

Пристрої та прилади для реєстрації максимальних і мінімальних рівнів на простих і передавальних постах. Спостереження за рівнем води, що виконуються на водомірних постах один або два рази на добу, у багатьох випадках не дають змогу зафіксувати найвище і найнижче положення рівня. Одночасно знання цих характеристик рівня та особливо його найбільшого значення важливо для встановлення меж коливання водності.

Граничні положення рівня води в періоди між термінами спостережень фіксуються за максимальними й мінімальними водомірними рейкам або за вказівником рівня води досконалішої конструкції.

Максимальні й мінімальні рейки розташовують у створі головного поста або поруч із ним. Довжина рейки повинна бути не більше 2 м. При значній амплітуді коливань рівня встановлюють дві (і більше) максимальні рейки.

Нижче приведено короткий опис деяких найпоширеніших конструкцій максимальних і мінімальних водомірних рейок.

Максимальна рейка в сталевій трубі на палі (рис. 5.6, а). Рейка становить трубу діаметром 5 см, встановлюється на палі й міцно закріплюється на ній за допомогою спеціальної скоби та болтів. У нижній частині труби робиться декілька отворів для входу води у трубу. Відліки рівня виконують за допомогою стрижня-показчика діаметром 1 см, який вставляють в трубу. Верхній кінець стрижня закріплений у голівці, яка одночасно закриває трубу. На стрижні нанесені поділки через 1,0 см з оцифруванням через 10 см.

Перед опусканням у трубу стрижень-показчик покривають розведеною у воді крейдою. Висота рівня визначається за межою змитого розчину крейди за розподілами на стрижні.

Металева рейка з гвинтовим наконечником (рис. 5.6, б) за своєю будовою не відрізняється від описаної вище, але встановлюється не на палю, а шляхом забурювання її гвинтового наконечника на глибину 0,75 м. Після цього необхідно визначити нівелюванням позначку її головки й обчислити позначку (і приведення) нуля спостереження.

Зубчаста рейка Фролова призначена для фіксації мінімального рівня (рис. 5.6, в). Надітий на рейку поплавок опускається одночасно з рівнем води, але при його підйомі затримується пружинами, що відзначає положення найнижчого рівня між строками спостережень. Ця сама рейка у перевернутому вигляді може слугувати для фіксації максимального рівня.

Зручніше і надійніше положення екстремальних рівнів фіксується приладом У-52 і самописцями рівня.

Показчик рівня У-52. Зручнішими пристроями для реєстрації крайніх значень рівня є стрілочні відмітчики. До них належить прилад У-52 (рис. 5.7). Він дає змогу вимірювати рівень із точністю до 1 см і автоматично відзначає найвищий і найнижчий рівні між строками спостережень.

Коливання рівнів сприймається поплавковим пристроєм, який укладено в захисну трубу та з'єднано з редуктором. Положення рівня показує стрілка на циферблаті. Поплавковий пристрій приладу складається з поплавка та вантажу-противаги, що сполучені тросом, перекинутим через поплашкове колесо, надіте на вихідну вісь редуктора.

Поплашкове колесо, редуктор і циферблат приладу поміщені в захисний корпус із закритими дверцятами перед циферблатом. Редуктор має дві стрілки для відліку рівня в момент спостереження. Одна з них вказує метри, а інша – сантиметри за відповідними шкалами. Граничні положення рівня між термінами спостережень відзначаються за допомогою двох особливих стрілок, які переміщуються за допомогою штифта, укріпленого на стрілці, що вказує метри. Ці стрілки, відведені в крайні положення, відповідні вищого й нижчого рівнів між термінами спостережень, зберігають своє положення внаслідок тертя їхніх осей.

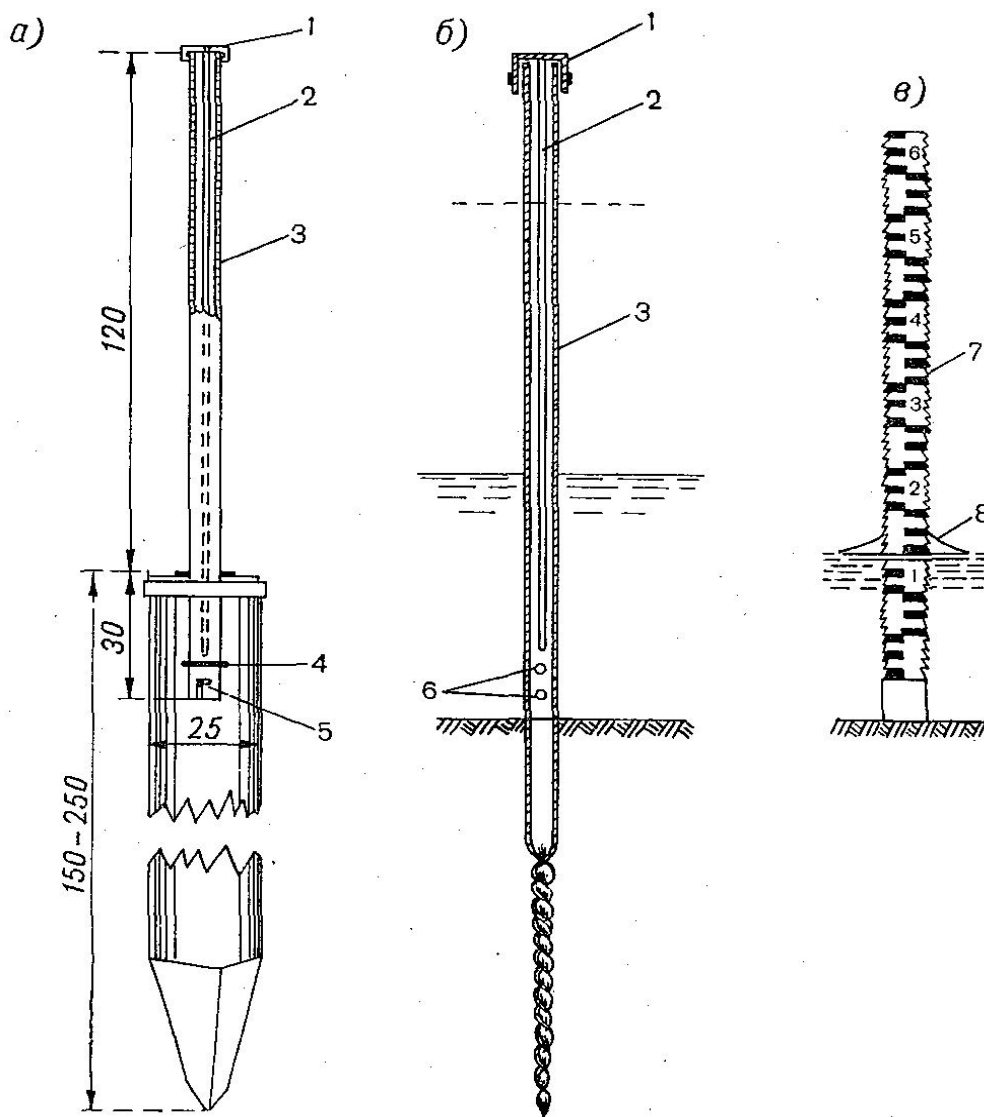


Рисунок 5.6 – Типи максимальних і мінімальних рейок:

а, б – максимальні рейки; в – мінімальна рейка;

1 – головка; 2 – стрижень-вказівник; 3 – труба; 4 – скоба; 5 – болт;

б – отвори; 7 – зубчаста рейка; 8 – поплавок з пружинами

Покажчик рівня У-52 встановлюється на захисну трубу діаметром 300 мм, що складається з двометрових секцій, нижня з яких перфорована. Захисна труба з встановленим на ній показчиком рівня прикріплюється у вертикальному положенні до міцної опори або скельного урвища берега, а за наявності споруд – до опори мосту, стінки набережної тощо.

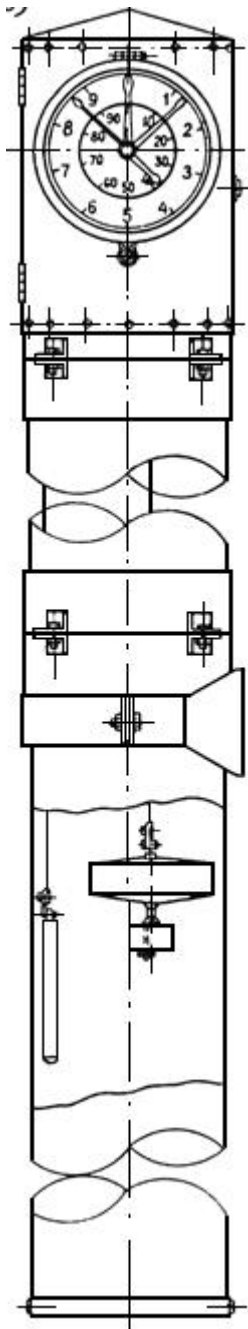


Рисунок 5.7 – Показчик рівня У-52

Нижній обріз труби повинен бути розташований на 0,5 м нижче найнижчого рівня води. На зимовий період показчик рівня знімають з установки.

Для збільшення точності відліку висоти стояння рівня води застосовуються різні пристосування і прилади.

Рейка в ковші. На гірських річках зі швидкою течією, де найчастіше влаштовуються рейкові пости, набіг води на рейку ускладнює відліки рівня. У цьому разі варто поміщати рейку в ковші, виритому на березі й з'єднаному з річкою канавою або трубою з направленням їх униз за течією.

Водомірна рейка з органічного скла із заспокоювачем застосовується для підвищення точності відліку рівня води у разі хвилюванні (рис. 5.8, а), має робочу довжину 1 м з поділками через 1 см і оцифруванням через 10 см.

Усередині рейки знаходиться циліндрична трубка, яка закінчується внизу бічним виходом назовні, що перекривається клапаном.

Для відліку рівня рейку ставлять на сваю. Натискаючи кнопку у верхній частині ручки, відкривають клапан, і вода входить всередину рейки. Коли рівень встановиться, кнопку відпускають і клапан закривається. Відлік роблять після підйому рейки при вертикальному її положенні. Рейку доцільно застосовувати при хвилюванні й на гірських річках із бурхливим плином.

В останньому випадку рейку потрібно ставити на палю так, щоб вона розташовувалася гострим ребром назустріч потоку.

Гачкова рейка призначається для вимірювання висоти рівня води у верхніх б'єфах водозливів, мірних баках та гідрометричних лотках. Гачкова рейка забезпечує точність відліку рівня за відсутності хвилювання ± 1 мм (є рейки з точністю відліку $\pm 0,1$ мм).

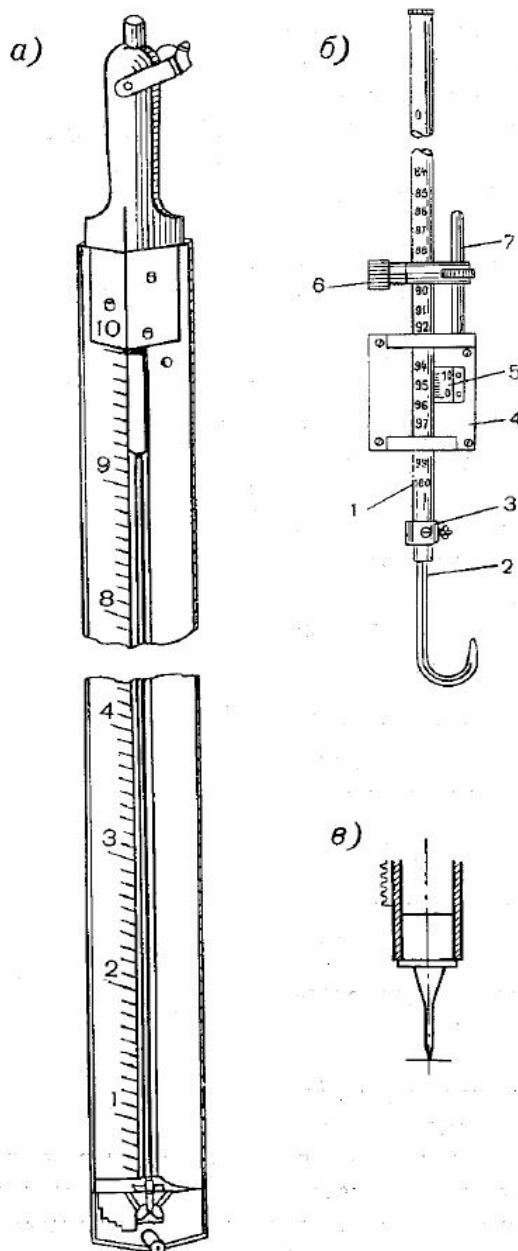


Рисунок 5.8 – Прилади для збільшення точності вимірювання рівня:

а – водомірна рейка із заспокоювачем; *б* – гачкова рейка; *в* – голчаста рейка

1 – латунна трубка;

2 – висувний стрижень;

3 – гвинт; *4* – кронштейн;

5 – масштабна планка;

6 – затиск;

7 – мікрометрична гайка

Рейка (рис. 5.8, б) складається з латунної трубки 1 із поділками від 0 до 100 см. На нижньому кінці рейка оснащена висувним стрижнем 2 завдовжки 50 см, який закінчується гачком із гостровідточеним кінцем. Висувний стрижень рейки закріплюється гвинтом 3.

Рейка за допомогою спеціального кронштейна 4 зміцнюється на сваї, стінці колодязя або іншої нерухомої опори. На кронштейні укріплено масштабну планку (ноніус) 5, що дає змогу робити відліки рівня з точністю до 1 мм.

Для відліку рівня необхідно звільнити затиск 6 і опустити голку гачка нижче рівня води, а потім за допомогою підйомного гвинта з мікрометричною гайкою 7 підняти голку до наколювання нею поверхні води, після чого робиться відлік рівня: за трубкою рейки відраховуються сантиметри, а за масштабною планкою – міліметри. Рейка дає змогу вести спостереження в межах амплітуди колювання рівня 150 см.

Голчаста рейка відрізняється від описаної вище тим, що кінець її забезпечений замість гачка голкою (рис. 5.8, в). Трубка голчастої рейки розділена на міліметри, що дає змогу за допомогою ноніуса виконувати відліки з точністю до $\pm 0,1$ мм.

Самописні водомірні пости безперервно реєструють колювання рівнів води. Установка самописного поста необхідна у разі значного добового ходу рівня, а також при різких його колюваннях, спричинених дощовими паводками, припливами, згінно-нагінними вітрами, роботою гідротехнічних споруд.

Головною частиною самописного поста є прилад – самописець для автоматичного запису колювань рівня води. За великої різноманітності систем самописців рівня всі їх типи складаються з таких двох головних елементів: давача рівня і записувального пристрою.

Давач рівня може бути поплавковим, манометричним тощо. Поплавковий пристрій давача є нині найпоширенішим.

Записувальний пристрій виконує запис у вигляді графіка ходу рівня. У деяких системах самописців через певні проміжки часу на стрічці друкуються цифри, що відповідають висоті стояння рівня, або здійснюється перфорація стрічки в умовному коді. Масштаб запису підбирається залежно від амплітуди коливань рівня і бажаного ступеня точності їхнього запису. Самописці рівнів приводяться в дію пружинними, гиревими або електричними годинниковими механізмами.

Паперова стрічка, на якій записується хід рівня, кріпиться на барабані самописця. Барабани можуть бути розташовані горизонтально або вертикально і приводяться в рух або годинниковим механізмом, що надає барабану обертання в один бік, або коливаннями рівня води, що надають обертання барабану за допомогою поплавка на тросі, який перекинуто через шків та з'єднано з барабаном. У цьому випадку барабан у разі підйому рівня обертається в одну сторону, а у разі спаду його – в іншу.

Записувальний пристрій (каретка з пером) у самописців із барабаном, що обертається під дією годинного механізму, який приводиться в рух за допомогою поплавка, передає коливання рівня води, а в самописців із барабаном, що обертається від поплавкового пристрою, каретка з пером рухається в одному напрямі вздовж барабана, при цьому швидкість руху її регулюється годинниковим механізмом.

Є багато типів самописців рівня. На сьогодні у гідрологічній мережі поширені самописці «Валдай» і ГР–38 (тривалої дії).

Самописець «Валдай» призначається для безперервного запису коливань рівня води (рис. 5.9). Він складається з поплавкової системи й реєструючого механізму. Поплавкова система складається з порожнистого металевого поплавку 1 діаметром 250 мм із вантажем 2, який прикріплюється під поплавком. Поплавок підвішений на м'якому тросі 3, на протилежному кінці якого прикріплений вантаж-противага 4. Поплавок і вантаж кріпляться до троса спеціальними затискачами 5. Трос надівається на поплавок колесо 6, що становить два таких спарених диска: малий із довжиною кола 300 мм і великий – 600 мм. Поплавкова система у разі коливань рівня води приводить в обертання барабан 7 самописця, що зчеплений із віссю поплавкового колеса.

Поплавкова система самописця «Валдай» забезпечує можливість вибору масштабу запису рівня води залежно від амплітуди його коливання, як це зазначено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Масштаб, що рекомендується для самописця рівня «Валдай», залежно від амплітуди коливання рівня води

Амплітуда коливання рівня, м	Масштаб запису, що рекомендується
До 1	1:1
1–2	1:2
2–3	1:5
3–6	1:10

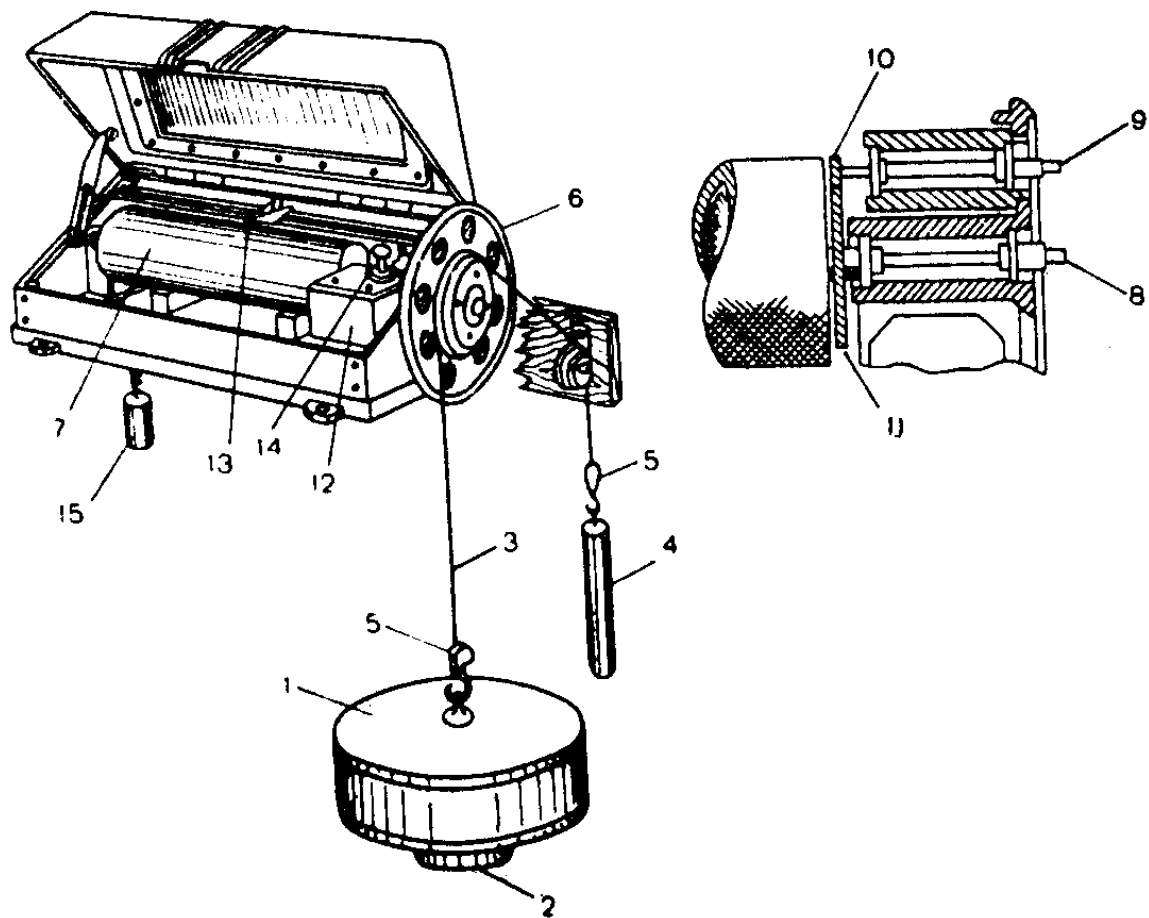


Рисунок 5.9 – Схема пристрою самописця «Валдай»:

- 1 – порожнистий металевий поплавок; 2 – вантаж; 3 – м'який трос;
 4 – вантаж-противага; 5 – затискачі; 6 – поплавкове колесо;
 7 – барабан; 8 – вісь приладу вимірювання; 9 – допоміжна вісь; 10 – трибка;
 11 – шестерня; 12 – годинниковий механізм; 13 – каретка з пером;
 14 – завідна голівка; 15 – гиря

Встановлення бажаного масштабу запису досягається у такий спосіб. Для запису ходу рівня в масштабах 1:1 і 1:2 поплавкове колесо закріплюється на головній осі приладу 8; масштаб запису 1:1 буде отримано у разі накладення троса на малий диск, а накладення троса на великий диск дає масштаб 1:2. Поплавок при зазначених масштабах запису навішується зліва від поплавкового колеса. Для запису ходу рівня в масштабах 1:5 і 1:10 поплавкове колесо закріплюється на допоміжній осі 9. Трибка 10 зсувається до зчеплення її з шестернею 11. Для отримання запису у масштабі 1:5 трос надівається на малий диск, а для отримання масштабу 1 : 10 – на великий диск. Поплавок при масштабі запису 1 : 5 і 1 : 10 навішується праворуч від поплавкового колеса. Реєструючий механізм самописця складається з барабана 7, годинникового механізму 12 і каретки з пером 13, що ковзає двома напрямними стержнів уздовж твірної барабана.

Довжина кола барабана становить 300 мм, довжина твірної – 330 мм. Барабан обертається на рухомому центрі, укріпленому на лівому боці корпусу, і на головній осі 8 поплавкового колеса, яка укріплена в правому боці корпусу. Для надягання стрічки на барабан рухливий центр відтягується від опорного гнізда і встановлюється на запобіжник. Барабан рухом вперед і вліво виймають із приладу. Стрічка з обрізаними кінцями накладається на барабан, кінці її заправляються в проріз і затискаються поворотом важеля на щоці барабана. Установка барабана в прилад проводиться в зворотному порядку.

Годинниковий механізм поміщено у вологонепроникну упаковку. Він діє від гирьового приводу. На верхній стороні коробки укріплена голівка 14, що заводиться, і виведені два важеля – один з них, з індексом «ВКЛ», слугує для пуску та зупинки годинникового механізму, а інший, з індексом «П» (додати (прибавить)) і «У» (зменшити (убавить)), призначений для регулювання ходу. Каретка з пером пересувається вздовж барабана дією годинникового механізму, що передається на каретку через сталеву струну, навиту одним кінцем на барабанчик головки 14, що заводиться; на вільному кінці струни підвішена гиря 15. Каретка скріплена зі струною затискним гвинтом і після заводу годинникового механізму може бути пересунута й закріплена в потрібному вихідному положенні.

Конструкція приладу дає змогу проводити запис рівня у разі багаторазових оборотів барабана.

Для нормальної роботи самописця рівня необхідно забезпечити своєчасне заведення годинникового механізму і зміну стрічки. Під час зміни стрічки виконують такі роботи:

1) готують нову стрічку, на якій проставляють порядковий номер, дату її постановки, назву річки та пункту спостереження;

2) вимірюють рівень на зовнішньому (на річці, озері) і внутрішньому (у приймальному резервуарі-колодязі) постах з приведенням відліків до нуля графіка поста;

3) на старій стрічці самописця роблять зарубку пером самописця на кінці лінії рівня запису і біля зарубки виписують години та хвилини зняття стрічки і значення рівня, приведеного до нуля графіка поста, після чого стару стрічку знімають;

4) заводять годинниковий механізм і перевіряють правильність дії пристрою, що записує, і годинникового механізму;

5) прочищають і заправляють чорнилом перо самописця;

6) надягають на барабан нову стрічку, на неї накладають перо в точці, що відповідає часу й рівню в цей момент, на стрічці роблять зарубку пером і біля неї записують час (година і хвилини) і рівень за контрольним постом.

Самописець рівня тривалої дії ГР–38 призначений для автономної роботи протягом 32 діб. У комплект приладу входять змінні шестерні, що дають змогу встановлювати самописець на термін автономної роботи також 16 і 18 діб.

При кожному із зазначених термінів барабан із діаграмної стрічки робить одне обертання, тому масштаб запису часу тим менше, чим більше термін

автономної роботи самописця, а саме при роботі протягом 32 діб – 0,5 мм/год, протягом 16 діб – 1 мм/год, протягом 8 діб – 2 мм/год.

Межі реєстрації змін рівня води при масштабі запису рівня 1:10 – 3 м, а при масштабі 1:20 – 6 м.

Зовнішній вигляд і кінематичну схему самописця показано на рисунку 5.10. Прилад складається з поплавкової системи та реєструючого механізму. Поплавкове колесо вміщене всередині корпусу, що зроблено для запобігання попадання вологи в механізм самописця. Для цієї саме мети в ньому є патрон із вологопоглинальною речовиною, а крім того, кришка приладу має гумову прокладку.

Поплавкове колесо, приводить в обертальний рух шестерні зубчастої передачі та ходовий гвинт, на якому насаджений тримач олівця. У разі зміни рівня олівець переміщається по твірній барабану. Барабан приводиться в обертальний рух від годинникового механізму через пару змінних шестерень. У комплект самописця входять три пари змінних шестерень, що дають змогу встановлювати зазначені вище терміни автономної роботи приладу. Для зміни масштабу запису рівня є дві пари змінних шестерень, що забезпечують зазначені масштаби запису рівня. Заведення годинникового механізму здійснюється ключем на 38 діб.

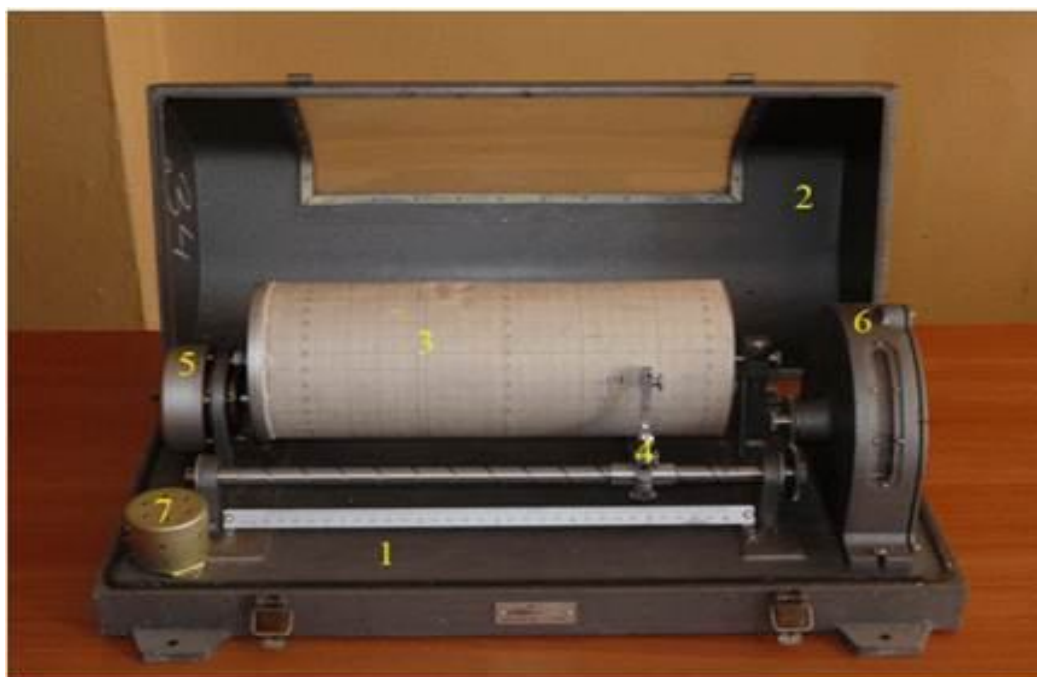


Рисунок 5.10 – Самописець рівня води ГР–38:

- 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – барабан зі стрічкою; 4 – каретка з пером;
5 – годинниковий механізм; 6 – корпус шківу з тросом;
7 – коробочка з осушувачем повітря*

Застосовується самописець тривалої дії ГР–38 на самописних постах, розташованих у важкодоступних місцях. Самописець ГР–38 має три таких масштаби запису рівня води: 1:20; 1:10 і 1:5 та реєструє амплітуди коливань

останнього відповідно до 6,0; 3,0 і 1,5 м. Запис часу проводиться також у трьох масштабах, а саме 2,0 мм/год, 1 мм/год і 0,5 мм/год, що забезпечує тривалість спостережень без зміни стрічок, відповідно, протягом 8, 16 і 32 діб. Недоліком цього самописця є обмеження запису рівнів при обраному масштабі відповідною йому амплітудою. Якщо фактична амплітуда коливання рівня перевищить граничну, що відповідає даним масштабом запису, то реєстрація рівня переривається.

Бульбашковий самописець рівня «Омега» (рис. 5.11) застосовується для вивчення режиму рівнів річок, озер, водосховищ і підземних вод. Сутність роботи приладу полягає в такому: з балона 11 через гнучкий шланг 13, з'єднаний із ртутним манометром 9, азот або стиснене повітря надходить у водойму. Вихідний отвір шланга має бути закріплено нижче можливого мінімального рівня води. Тиск у трубі пропорційно товщині шару води над її вихідним отвором. Пристрій 7 після врівноваження тиску включає систему балансу 8, що складається з подвійної чашки з ртуттю, і систему зчитувальних контактів. При підвищенні або зниженні рівня змінюється тиск, і ртуть переходить з однієї чашки в іншу, виводячи у такий спосіб систему з рівноваги.

Ці рухи сприймаються чутливим сталевим поплавком 8, зчитувальними контактами й сервомотором 6. Коли система балансу з подвійною чашкою приходить у рівновагу, процес зупиняється. Цифровий показчик 3 і перо записувального пристрою 4 показують на стрічці 5 положення рівня води.

Електроживлення 1 від акумулятора 6В постійного струму. Балон 11 ємністю 10 л достатній для роботи протягом 4–6 місяців. Редуктор тиску 2 зі шкалою для визначення виправленого атмосферного тиску. Прилад монтується в будці 10, що встановлюється на бетонній основі 12.

Прилад записує коливання рівня в амплітуді 7,5 м з точністю вимірювання ± 1 см. Масштаби запису 1:5, 1:10, 1:20, а часу – 2 мм/год, але можуть бути шляхом зміни шестерень 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20 мм/год. Довжина стрічки для запису рівнів 16 м, ємність пера з чорнилом на 1 рік.

Шланг, що виводиться у воду, може бути на тимчасових установках прокладений поверхнею землі, а на постійних – під землею. Максимальна дальність видалення від водойми – 300 м.

Вихідний кінець трубки (шланга) у воді повинен бути закріплений на укосі берега чи на сваї. Прилад забезпечений пристроєм для продування трубки стисненим повітрям або газом.

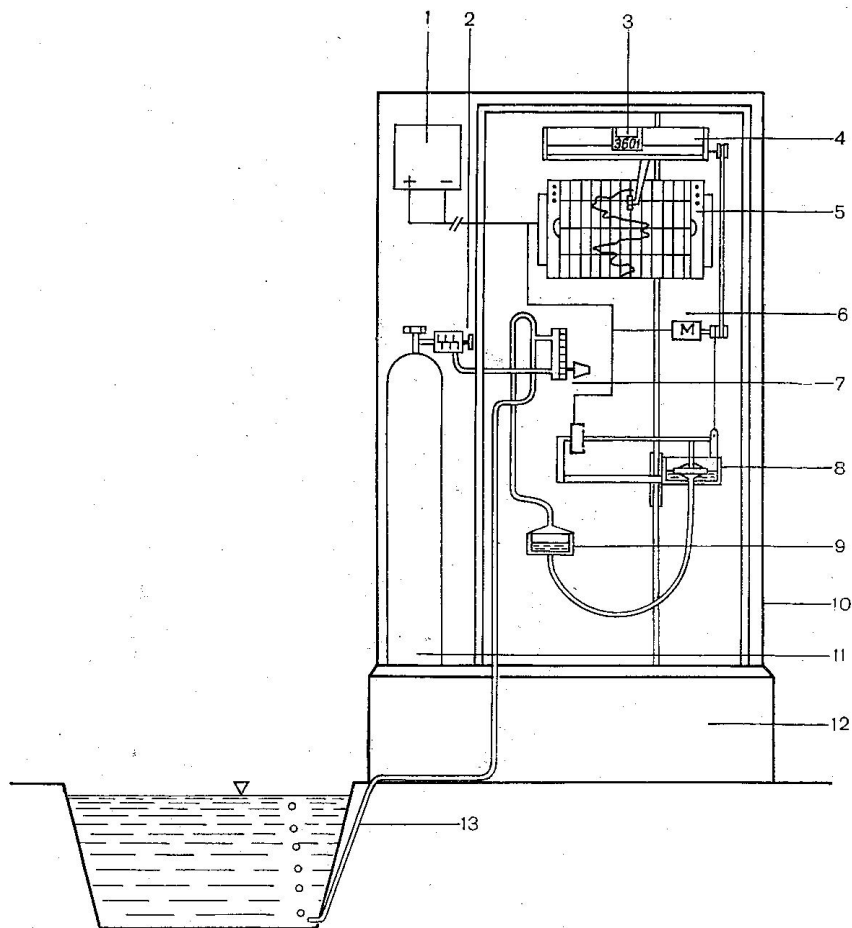


Рисунок 5.11 – Бульбашковий рівнемір

1 – джерело енергії; 2 – редуктор тиску; 3 – цифровий показчик;
 4 – записувальний пристрій; 5 – стрічка з записом; 6 – двигун; 7 – зрівняльний
 клапан; 8 – балансовий пристрій; 9 – манометр; 10 – будка; 11 – балон;
 12 – підстава; 13 – шланг

Способи установки самописців рівня води. Для встановлення водомірного поста, обладнаного самописцем, необхідна спеціальна споруда, конструкція якої залежить від тривалості періоду роботи поста, особливостей гідрологічного режиму водного об'єкта та місцевих умов. Залежно від терміну дії поста установки самописця можуть бути капітальні, призначені для необмежено довгого терміну служби, і тимчасові, призначені для роботи протягом 1–2 років і менше. У конструктивному плані установки самописців поділяються на такі два типи:

1) острівний, коли споруда з самописцем встановлюється безпосередньо у водоймі, річці, озері;

2) береговий, коли вся споруда встановлюється на березі в колодязі, який сполучено з водоймою через трубу.

Під час вибору типу та конструкції установки самописця необхідно враховувати таке:

- 1) гідрологічний режим водойми,
- 2) форму берегів і склад ґрунтів, що їх складають,

- 3) наявність гідротехнічних споруд,
- 4) особливості використання водного об'єкта в районі установки,
- 5) економічні міркування.

Межі можливого коливання рівня води визначають глибину закладення приймального колодязя і сполучної труби, а також загальну висоту установки.

Інтенсивність коливань рівня води, розміри хвилювань, припливів, швидкості течії визначають розміри отворів для пропуску води з водойми в приймальний колодязь. Характеристики режиму вскриття, замерзання, товщини льоду та льодоходу, а також утворення внутрішньоводного льоду та шуги визначають розмір і особливості захисних споруд і заходів щодо запобігання руйнування установки та забезпечення її нормальної роботи. Характеристики режиму наносів і стійкості ложа водоймищ визначають заходи, необхідні для запобігання установки від руйнування і замулення.

Форма і ґрунти берегів, водойми, а також наявність постійних гідротехнічних споруд і намічений термін дії установки визначають її тип, а наявність судноплавства і сплаву – необхідні заходи з огороження установки. Кожна установка самописця повинна мати два таких контрольних водомірних поста: зовнішній – рейкового або пальового типу поблизу або в створі самописця і внутрішній – рейку в приймальному колодязі.

Острівний тип установки самописця. Цей тип встановлення найпростіший і найбільш економічний за своїм пристроєм і може бути застосований за таких умов:

- 1) невеликі амплітуди коливань рівня води;
- 2) захищеність пункту установки від пошкодження її льодом, судами, плотами;

3) відсутність необхідності дії установки в зимовий час.

Установка складається з трьох головних частин:

- 1) опори, що споруджується безпосередньо у водоймі;
- 2) будки для самописця, що встановлюється на опори;
- 3) приймального резервуара у вигляді труби, в якій міститься поплавок самописця.

Конструкції цих частин залежно від місцевих умов можуть бути досить різноманітними. Як опору установки рекомендується за можливістю використовувати такі штучні споруди: підвалини мостів, стінки набережних, пристаней, молів, хвилеломів. Якщо берег водойми скелястий і обривистий, то його також можна використовувати як опору установки.

Будка з самописцем рівня встановлюється на майданчику, що укріплений на споруді або обриві берега за допомогою кронштейнів. Майданчик має бути розташований вище найвищого рівня води на 0,5–1,0 м.

Приймальний резервуар у вигляді труби кріпиться до споруди або берегу за допомогою хомутів і кронштейнів. Нижній кінець труби повинен бути опущений на 0,5–1,0 м нижче найнижчого рівня води і закритий відкидною кришкою або засувкою для очищення труби від наносів. У верхній частині труби через 1,5–2,0 м є оглядові дверці. Для пропуску води в трубу в кінці її нижньої частини влаштовують отвори.

За відсутністю гідротехнічних споруд, які могли б бути використані як готова опора для установки самописця, таку опору необхідно спорудити.

Береговий тип установки самописця (рис. 5.12). Цей тип встановлення більш довговічний, але спорудження його значно складніше і дорожче установки острівного типу.

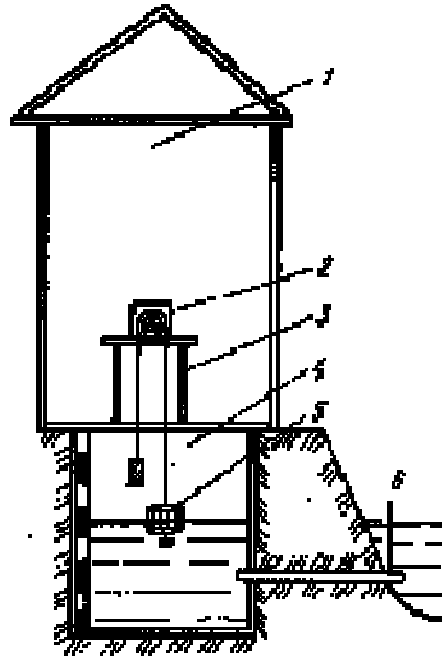


Рисунок 5.12 – Береговий тип установки самописця:

1 – будка; 2 – самописець; 3 – столик; 4 – колодезь; 5 – поплавок;
6 – з'єднувальна труба

Застосовувати його доцільно за таких умов:

- 1) необмежено довгого терміну роботи поста;
- 2) великих амплітуд коливань рівнів води;
- 3) наявності небезпеки руйнування установки острівного типу хвилюванням, льодоходом, судами;
- 4) необхідності дії установки в зимовий час.

Береговий тип установки складається з чотирьох таких головних частин:

- 1) приймального колодезя, спорудженого на березі, в якому поміщається поплавок;
- 2) труби, яка з'єднує колодезь із водоймою;
- 3) приймального пристрою, в якому поміщається кінець водозабірної труби;
- 4) будки для самописця, що встановлюється над колодезем.

Колодезь влаштовується на березі з такого розрахунку, щоб його верхня поверхня була не менше ніж на 1,0 м вище найвищого рівня води, а дно його – нижче на 1,0–1,5 м найнижчого рівня. Залежно від місцевих умов колодезь може бути дерев'яний, бетонний або кам'яний.

Дистанційні водомірні пости. Дистанційними називаються водомірні пости, що автоматично передають покази висоти рівня на відстань. Передавання відомостей про рівні може здійснюватися у певні строки або безперервно.

Дистанційні водомірні пости мають велике значення для диспетчерської служби на гідроелектростанціях, шлюзах, водосховищах, зрошувальних системах, а також у малонаселених і важкодоступних районах через те, що вони не потребують постійного обслуговування спостерігачем.

Дистанційні водомірні пости – головне джерело інформації про рівні водних об'єктів в умовах комплексної автоматизації гідрометеорологічної мережі.

Розглянуті в попередньому розділі самописці рівня належать до приладів місцевого відліку та не мають пристроїв для передавання результатів вимірювань на відстані. Однак розроблено пристрої, які перетворюють кут повороту валу, що обертається поплавковою системою самописців, у цифровий числоімпульсний код, що робить можливим застосування їх як дистанційні рівнеміри і, зокрема, на автоматизованих гідрологічних постах.

Дистанційні водомірні пости складаються з таких головних елементів:

- 1) давача рівня,
- 2) каналу зв'язку,
- 3) реєструвального пристрою,
- 4) джерела живлення.

Дачач складається з чутливого елемента перетворювача. Чутливий елемент безпосередньо сприймає зміни рівня. Застосовуються такі типи чутливих елементів: безконтактні електричні, електроконтактні, поплавкові, гідростатичні.

Безконтактні електричні чутливі елементи становлять металевий електрод у вигляді стрижня, покритий шаром ізоляції. Електрод одночасно з середовищем (водою) утворює конденсатор, ємність якого залежить від глибини занурення електрода.

Електроконтактні чутливі елементи бувають безперервного, дискретного й омічного типів. Дія приладів першого типу заснована на використанні контакту пошукового електрода або пари електродів з поверхнею води з подальшою логічною обробкою сигналу системою автоматичного пошуку. До пристроїв другого типу належать електроконтактні рейки, контакти на яких розташовані на певних відстанях; при цьому здійснюється дискретна реєстрація положень рівня води при його коливаннях. Дія омічних приладів ґрунтується на тому, що при зануренні у воду натягнутого дроту, по якому пропускається змінний струм, падіння напруги змінюється зворотно пропорційно глибині її занурення.

Дія поплавкового чутливого елемента зрозуміла з описання самописців «Валдай» та ГР–38. Дія гідростатичних чутливих елементів заснована на реєстрації тиску стовпа води над приладом, що встановлюються на дні водойми. Як чутливий елемент використовують сильфони, манометричні

коробки та інші пружні елементи, а також ртутні манометри, як наприклад, як це роблять бульбашковим рівнеміром (рис. 5.11) і приладом УДВ–1М.

Для гідрологічних давачів як чутливі елементи застосовують переважно поплавкові й гідростатичні, до того ж найчастіше – поплавкові.

Призначення перетворювача полягає в перетворенні інформації, що надходить до нього від чутливого елемента, у форму сигналу, зручну для передавання на реєструючий пристрій. Найчастіше інформація перетворюється в електричні сигнали, дискретні або безперервні.

З метою встановлення оптимальних значень допустимої похибки давачів рівнемірів у ГГІ В. Ф. Карасьовим та А. М. Чижовим було проведено методичну розробку, унаслідок якої отримано залежність похибки від амплітуди коливань рівнів (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Залежність похибки від амплітуди коливань рівнів

Діапазон амплітуди рівнів, м	Похибка, см
2,5	0,5
2,5–5,0	1,0
5,0–10,0	2,0
10,0–25,0	5,0

Оптимальна точність вимірювання рівня на водосховищах залежить від завдання вимірювання. Так, відносна похибка вимірювання рівня для визначення ємності водосховища повинна бути 0,2–1,5 %, для обліку стоку води (витрати через турбіни ГЕС) – 0,26%, для розрахунку водного балансу – 0,01–0,2 %.

Як канал зв'язку найчастіше застосовується електропровідний зв'язок, а у разі установаження автоматичних постів у віддалених і важкодоступних районах – радіозв'язок.

Реєструючий пристрій може бути у вигляді самописця, стрілочного або шкального показника. Для використання інформації водомірних постів автоматизованої мережі передбачається застосовувати перфатори, пов'язані з давачами водомірних постів, за допомогою яких на перфострічці будуть накопичуватися дані про рівні води в закодованому вигляді й пізніше періодично, місячними масивами, вводиться в комп'ютер для обробки.

Похильні водомірні пости. Призначення цих постів полягає у визначенні падіння та ухилу водної поверхні на досліджуваній ділянці річки. Особливо необхідні похильні пости на ділянках з явищами змінного підпору. Змінний підпір може виникати за наявності підпору від водоприймача (головна річка, озеро, водосховище), за несталою руху води (водопілля, паводки, попуски), зажорах і заторах, заростанні русла тощо. За наявності змінного підпору зв'язок між рівнями та витратами води у річці стає неоднозначним, у цьому разі витрата залежить не тільки від рівня, але й від ухилу водної поверхні. Для

точного визначення падіння та ухилу водної поверхні велике значення має відстань між похильними постами, яка призначається відповідно до мінімального падіння на досліджуваній ділянці й необхідної точності його визначення.

Для використання результатів спостережень за похилом водної поверхні під час обчислення стоку води та екстраполяції кривих витрат значення ухилів повинні визначатися з похибкою не більше 10–15 %. Така точність може бути досягнута за умови, що падіння, яке вимірюється на рівнинній річці, буде не менше 10–20 см, а на гірській – 25–50 см. Для визначення відстані між похильними постами Є. В. Близняк запропонував формулу

$$L = \frac{28 \cdot \Delta H}{h}, \quad (5.1)$$

де ΔH – точність визначення відміток рівня на обох постах, мм;

h – падіння річки на 1 км, мм.

Так, при $H = 200$ м на 1 км ($i = 0,0002$) і $\Delta H = 5$ мм

$$L = \frac{28 \cdot 5}{200} = 0,7 \text{ км.}$$

Отримати достатньо точне значення ухилів водної поверхні можна у разі ретельного визначення таких факторів:

- 1) відстані між похильними постами,
- 2) відміток майданчиків свай або нулів рейок постів,
- 3) рівнів води на постах.

Схему визначення падіння та ухилу водної поверхні наведено на рисунку 5.13. Падіння $h = H_1 - H_2$, а ухил $i = h/l$. Для вибору ділянки спостережень за похилом водної поверхні та встановлення його кордонів, а отже, і місця розташування верхнього і нижнього похильних постів проводять обстеження річки з нівелюванням миттєвого профілю водної поверхні. На діючих водомірних постах необхідно прагнути до того, щоб головний водомірний пост опинився на одній із меж ділянки й міг би одночасно слугувати похильним постом.

Нівелювання ділянки проводять двічі, а саме в повінь при високому рівні й у межень при низькому рівні, оскільки залежно від особливостей русла ділянки для вимірювання ухилу можуть бути різної довжини. Межі ділянки для вимірювання ухилу призначають із таким розрахунком, щоб ухил вище і нижче цих меж був на деякій відстані одноманітним (рис. 5.14).

Визначення ухилу водної поверхні за допомогою нівелювання. На досліджуваній ділянці річки одночасно, по годинах, забивають кілки врівень із водною поверхнею через 50–100 м, а також у всіх характерних місцях перелому водної поверхні (перепади, перекасти).

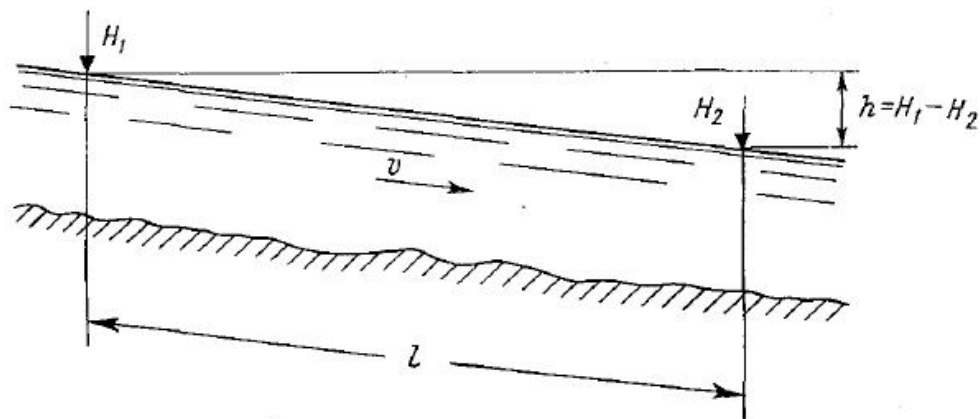


Рисунок 5.13 – Схема визначення падіння та ухилу водної поверхні

Для збільшення точності фіксації положення рівня кілки забивають у природних заливчиках берега або в ковшах, викопаних біля берега і сполучених із річкою канавками. Позначки майданчиків колів визначають нівелюванням IV класу, подвійним ходом від репера головного поста.

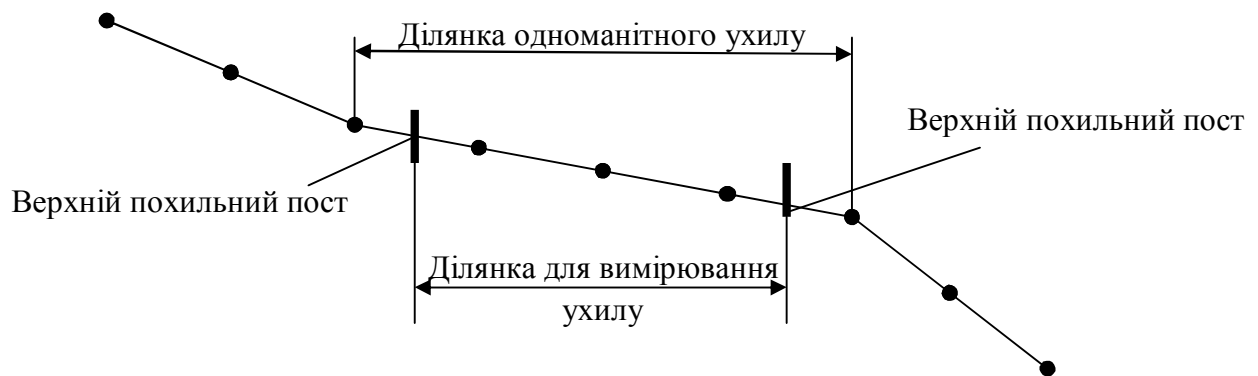


Рисунок 5.14 – Схема розташування похильних постів

—•— — точки нівелювання

Репери водомірних постів. Водомірний пост обладнується двома постійними реперами – головним і контрольним, що встановлюються поза зоною затоплення високими водами. Основний репер зазвичай влаштовується потайним і повинен задовольняти вимогам довготривалого збереження та незмінності його висоти. Він слугує для перевірок висоти контрольного репера і розташовується поблизу від поста.

Контрольний репер встановлюється у створі поста якомога ближче до водомірних пристроїв і слугує для систематичних перевірок висотного положення свай, нулів рейок та інших водомірних пристроїв.

Для встановлення реперів обирають місця, не схильні до затоплення, заболочення, зсувів та інших зміщень ґрунту. Не допускається встановлювати репери на ріллі, на городі, на стежках і дорогах. Опору репера посту закладають на глибині не менше ніж на 0,5 м нижче лінії сезонного промерзання ґрунту, а в районах багаторічномерзлих порід – нижче лінії сезонного відтавання.

Крім того, в умовах мерзлоти необхідно захищати репер зверху від дії тепла, що можна досягти, помістивши головку репера в дерев'яний зруб із теплоізоляцією. Відступ від цього правила допускається тільки при установці репера на скельній основі.

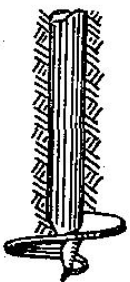
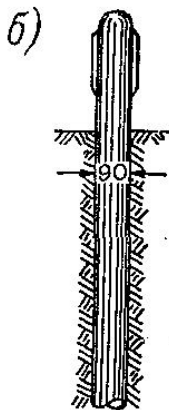
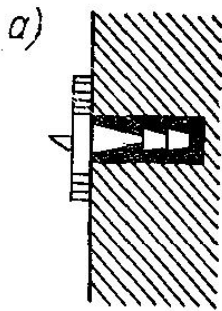


Рисунок 5.15 – Типи постових реперів:
а – стінний репер;
б – репер – гвинтова паля

Постійні реperi. За наявністю поблизу поста капітальних споруд або скель як постійний репер поста може бути встановлено стінний репер (рис. 5.15, а), який зашпаровується в отвір на цементному розчині. За відсутністю капітальних споруд репер роблять зі стандартної металевої гвинтової сваї (рис. 5.15, б), яка заглиблюється в ґрунт до голівки. За можливістю пошкодження репера його роблять потайним.

Потайні реperi відрізняються тим, що їхні головки приховані під землею на глибині 0,5 м, а для запобігання іржавіння вони покриті асфальтовим лаком. Для впізнання місця розташування репера на поверхні землі насипають курган. У населених пунктах розташування репера не зазначається, а необхідні відомості даються в паспорті поста і на плані ділянки.

Репери повинні мати чітко й міцно зроблені написи з позначенням відомства, номери репера і року установки.

Головний репер прив'язується до державної висотної мережі нівелюванням III і IV класу подвійним ходом. Нівелювання реперів виготовляють за два-три дні після установки.

Тимчасові реperi виготовляють із міцних деревних порід, що мало гниють (модрина, кедр, сосна, дуб, бук). У районах, де є виходи скельних порід, як тимчасовий репер можна використовувати вирубану в скелі горизонтальну полицьку або сталевий штир, забитий в отвір на цементному розчині.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть класифікацію водомірних пристроїв за конструкцією.
2. Наведіть схему спайного водомірного поста і дайте його коротку характеристику.
3. Які пристрої та прилади застосовують для реєстрації максимальних і мінімальних рівнів на простих і передавальних постах?
4. Наведіть схему та принцип дії самописця «Валдай».

5. Наведіть схему та принцип дії бульбашкового самописця рівня «Омега».
6. Наведіть головні способи установки самописців рівня води.
7. Наведіть схему визначення падіння та ухилу водної поверхні й охарактеризуйте принцип визначення ухилу за допомогою нівелювання.

ТЕМА 6 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Гідрологічні вишукування є невід'ємною частиною проектування та будівництва будь-яких об'єктів. Їхня суть полягає в аналізі природних вод, а також процесів та явищ, що відбуваються в них.

Інженерно-гідрометеорологічні вишукування забезпечують комплексне вивчення гідрометеорологічних умов території будівництва і прогноз можливих змін цих умов унаслідок взаємодії з проєктованим об'єктом із метою отримання необхідних і достатніх матеріалів та даних для прийняття обґрунтованих проєктних рішень.

На підставі інженерно-гідрологічних вишукувань визначаються умови, за яких виконуються головні вимоги, що пред'являються до об'єкта будівництва, його стійкість і довговічність. Ці фактори, насамперед, залежать від правильного вибору розмірів будівельної конструкції, які забезпечують нормальний тиск на ґрунт, а також будівельних матеріалів для закладання фундаменту і зміцнення основи споруди. Використання оптимальних матеріалів, залежно від гідрологічних характеристик району будівництва, і дотримання прийнятних розмірів конструкцій є найважливішими завданнями інженерно-гідрологічних вишукувань.

З метою виявлення оптимальних технологій будівництва гідрологічні дослідження передбачають вивчення таких головних ***гідрологічних характеристик***:

- наявності підземних і надземних вод;
- впливу вод на будівельні об'єкти певної ділянки;
- глибини та потужності водоносного горизонту;
- походження ґрунтових вод;
- якість, агресивність, придатність вод для пиття і технічних потреб.

Усі перераховані гідрологічні характеристики мають досить широку сферу застосування, що робить проведення інженерно-гідрологічних вишукувань прийнятним для всіх різновидів об'єктів, починаючи від промислових споруд і закінчуючи об'єктами цивільного та іншого призначення. Крім того, велика кількість факторів використання результатів гідрологічних вишукувань та виявлених у процесі дослідження гідрологічних характеристик місцевості обумовлюють важливість застосування інженерно-гідрологічних вишукувань при грамотному проєктуванні будівництва. Це робить проведення гідрологічних вишукувань значущим не тільки на етапах розроблення об'єкта і виконання будівельних робіт, але й під час експлуатації споруди.

Отже, універсальність застосування результатів гідрологічних вишукувань та важливість їхнього проведення в сфері будівельних об'єктів для запобігання і ліквідації несприятливих гідрологічних умов забезпечує необхідність їхньої організації для надійного, якісного й економічного виконання робіт у процесі будівництва, реконструкції та експлуатації будівель і споруд.

Інженерно-гідрометеорологічні вишукування виконують із такою метою:

- вивчення процесів підтоплення території підземними водами та зміни їхнього хімічного складу, прогнозування руслових і заплавних деформацій річок;
- визначення режиму й гідравлічних характеристик водотоків в природному стані та в умовах утиску, включаючи хвильові та льодотермічні впливи;
- виконання вимірювання витрат води в створах споруд і визначення бічної міцності;
- вивчення стоку зовнішніх наносів, склад і обсяг твердого стоку та динаміку руслових процесів.

До складу інженерно-гідрометеорологічних вишукувань входить таке:

- збір, аналіз та узагальнення матеріалів гідрометеорологічної та картографічної вивченості території;
- рекогносцирувальне обстеження району інженерних вишукувань;
- спостереження за характеристиками гідрологічного режиму водних об'єктів та метеорологічними елементами;
- вивчення небезпечних гідрометеорологічних процесів і явищ;
- камеральна обробка матеріалів з визначенням розрахункових гідрологічних і (або) метеорологічних характеристик;
- складання технічного звіту.

Вивченню у разі проведення інженерно-гідрометеорологічних вишукувань підлягає таке:

- гідрологічний режим річок, озер, водосховищ, боліт, гирлових ділянок річок, тимчасових водотоків, прибережної та шельфової зон морів;
- кліматичні умови й окремі метеорологічні характеристики;
- небезпечні гідрометеорологічні процеси та явища;
- техногенні зміни гідрологічних і кліматичних умов або їхніх окремих характеристик.

Інженерно-гідрометеорологічні вишукування повинні виконуватися для вирішення таких завдань:

- визначення можливості забезпечення потреби у воді та організації різних видів водокористування;
- вибору місць розташування майданчика будівництва (траси) та її інженерного захисту від несприятливих гідрометеорологічних впливів;
- розроблення генерального плану території (міста, селища);
- вибору конструкцій споруд, визначення їхніх головних параметрів та організації будівництва;

- визначення умов експлуатації споруд;
- оцінки впливу об'єктів будівництва на навколишнє водне та повітряне середовище й розроблення природоохоронних заходів.

Інженерно-гідрометеорологічні вишукування повинні проводитися в комплексі з інженерно-геологічними та інженерно-геодезичними дослідженнями під час виконання таких проектів:

- вишукування джерел водопостачання на базі підземних вод;
- вивчення процесів підтоплення території підземними водами та зміни їхнього хімічного складу;
- вивчення і прогноз руслових та заплавних деформацій річок;
- вивчення і прогноз перероблення берегів озер та водосховищ, динаміки морських узбережь;
- геокріологічні дослідження, вивчення карсту, зсувів, селів та інших небезпечних геологічних процесів.

Під час гідрометеорологічного обґрунтування проектних рішень для екологічно небезпечних споруд та містобудівної документації інженерно-гідрометеорологічні вишукування необхідно виконувати в комплексі з інженерно-екологічними дослідженнями.

Одночасно з інженерно-гідрометеорологічними вишукуваннями за необхідності виконуються спеціальні дослідження, які забезпечують вивчення таких особливостей:

- мікрокліматичних умов;
- умов розсіювання шкідливих речовин і забруднення атмосферного повітря;
- особливостей гідравлічного режиму ділянок річок, б'єфів гідровузлів тощо;
- режиму руслових і заплавних деформацій річок, перероблення берегів озер і водосховищ, динаміки прибережної зони морів;
- водного балансу річки, озера, водосховища, території, яка підтоплюється (осушується) тощо;
- умов формування стоку на еталонних басейнах і ділянках річок;
- гідрофізичних і льодотермічних умов водойм і водотоків;
- особливостей гідробіологічного й гідрохімічного режимів річок, озер, водосховищ тощо;
- водно-ерозійних процесів.

Необхідність виконання окремих різновидів гідрологічних і метеорологічних робіт, їхній склад і обсяг слід встановлювати в програмі інженерних вишукувань на підставі технічного завдання замовника залежно від різновиду і призначення споруд, їхнього рівня відповідальності, стадії проектування, а також складності гідрологічних і кліматичних умов району (майданчику, траси) будівництва і ступеня їхньої вивченості.

За результатами інженерно-гідрометеорологічних вишукувань складається технічний звіт, який загалом повинен містити такі розділи:

1. Введення – підстава для виконання вишукувальних робіт, завдання інженерно-гідрометеорологічних вишукувань, прийняті зміни до програми

інженерних вишукувань та їхнього обґрунтування, відомості про об'єкти проектування, заходи щодо інженерного захисту території та охорони навколишнього середовища, склад виконавців.

2. Гідрометеорологічна вивченість – відомості про раніше виконані інженерні пошуки та дослідження, наявність пунктів стаціонарних спостережень Укргідромету та інших міністерств і відомств, можливості їхнього використання для вирішення поставлених завдань; характеристика вивченості території з урахуванням наявних матеріалів.

Природні умови району мають містити таку інформацію:

- відомості про місцезнаходження району робіт, рельєф, геоморфологію та гідрографію;

- про характеристику гідрометеорологічних і техногенних умов району будівництва, зокрема таких: характеристику кліматичних умов (температура і вологість повітря, швидкість і напрям вітру, опади, випаровування та атмосферні явища, глибина промерзання ґрунту й висота снігового покриву);

- про характеристику гідрологічного режиму водних об'єктів (режимів рівнів і стоку, льодового та термічного режимів, режимів наносів і руслового процесу, гідрохімічного режиму, режимів хвилювань і течій для озер, водосховищ і прибережних зон морів);

- про характеристику небезпечних гідрометеорологічних процесів і явищ (повені, цунамі, селеві потоки, снігові лавини і замети, ураганні вітри й торнадо, ожеледі, активні прояви руслових процесів, затори і зажори).

Результати інженерно-гідрометеорологічних вишукувань мають містити такі дані:

- матеріали виконаних робіт, їхній аналіз і оцінка;

- прийняті для розрахунків вихідні дані;

- визначення достовірності виконаних розрахунків;

- оцінка гідрометеорологічних умов району будівництва з приведенням розрахункових характеристик, необхідних для обґрунтування проектів споруд;

- прогноз впливу небезпечних природних процесів і явищ (за їхньою наявністю) з оцінкою ступеня їхньої небезпеки та ризику для проектного будівництва;

- прогноз можливого впливу об'єктів будівництва на навколишнє природне середовище, що включає, за необхідністю, прогноз фонових забруднень атмосферного повітря з урахуванням метеорологічних характеристик, які визначають умови розсіювання шкідливих речовин, наслідків забору води та випусків стічних вод на водну екосистему, теплового і хімічного забруднення водойм, зміни руслових процесів, термічного і льодового режимів;

- головні висновки за результатами виконаних інженерно-гідрометеорологічних вишукувань, рекомендації для прийняття проектних рішень з охорони навколишнього природного середовища, а також обґрунтування необхідності проведення подальших інженерних вишукувань;

- табличні матеріали повинні містити результати виконаних за період інженерних вишукувань спостережень, результати спостережень за постом-

аналогом за той самий період, вихідні дані та результати розрахунків, що приймаються при гідрометеорологічних розрахунках.

6.1 Загальні поняття про методи визначення гідрологічних характеристик

Визначення розрахункових гідрологічних характеристик має ґрунтуватися на даних гідрометеорологічних спостережень, опублікованих в офіційних документах Державного комітету України з гідрометеорології.

Під час визначення розрахункових гідрологічних характеристик необхідно застосовувати такі прийоми розрахунків:

а) за наявністю даних гідрометричних спостережень – безпосередньо за цими даними;

б) у разі недостатності даних гідрометричних спостережень – приведенням їх до багаторічного періоду за даними річок-аналогів із довгими рядами спостережень;

в) за відсутністю даних гідрометричних спостережень – за формулами з використанням даних про річки-аналоги і карти, що засновані на сукупності даних спостережень усієї мережі гідрометричних станцій і постів цього району або більш обширної території, зокрема матеріали інженерно-гідрометеорологічних вишукувань.

Як критерій під час визначення величини розрахункової гідрологічної характеристики для кожного різновиду будівництва приймається щорічна ймовірність перевищення (забезпеченість) цієї величини, що встановлюється нормативними документами.

Дані гідрометричних спостережень необхідно піддавати перевірці, що включає аналіз такого:

- повноти та надійності спостережень за рівнями й витратами води, наявності даних про найвищі (миттєві та середньодобові) і найнижчі рівні води за час спостережень у разі вільного від льоду русла, крижаного покрову, льодоході, заторі льоду, руслі, яке заросло водною рослинністю, підпорі від нижче розташованої греблі, скиду води вище гідрометричного створу тощо;

- зв'язування висотних відміток водомірних постів і рівнів за весь період спостережень;

- зв'язування річного і сезонного стоку води, максимальних і мінімальних витрат і рівнів води в пунктах спостережень за довжиною річки;

- повноти обліку стоку води на заплавах і в протоках;

- обґрунтованості способів підрахунку стоку води за усередненими або щорічними кривими витрат води або іншими методами;

- обґрунтованості екстраполяції кривих витрат води до найвищих і найнижчих рівнів, а також точності розрахування стоку води кривими витрат за рік, сезон, місяць, добу;

- необхідність відновлення спостережень, пропущених за окремі роки, місяці, дні;

– точності розрахунків стоку води за зимовий і перехідний періоди, обґрунтованості прийнятих під час розрахунку стоку води коефіцієнтів, що враховують заростання русла водною рослинністю, правильності обліку деформації русла і змінного підпору;

– впливу господарської діяльності на річковий стік.

Дані гідрометеорологічних спостережень низької якості у разі неможливості їхнього уточнення виключаються з розрахункового ряду спостережень. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик потрібно проводити за однорідними гідрологічними рядами.

Приведення стоку до однорідних умов проводиться у такий спосіб:

– регресійними методами з використанням парної і множинної кореляції;
– водно-балансовими методами з урахуванням зміни всіх елементів водного балансу.

Оцінка однорідності рядів гідрометричних спостережень здійснюється на підставі генетичного аналізу умов формування річкового стоку шляхом виявлення причин, що зумовлюють неоднорідність вихідних даних спостережень. За необхідністю кількісної оцінки однорідності даних спостережень застосовуються статистичні критерії однорідності середніх значень і дисперсій з урахуванням внутрішньорядових і міжрядних кореляційних зв'язків.

Під час вибору річок-аналогів необхідно враховувати такі умови:

– можливу географічну близькість розташування водозборів;
– схожість кліматичних умов;
– однорідність умов формування стоку – однотипність ґрунтів і гідрогеологічних умов, за можливістю близьку ступінь озерності, залісненості, заболоченості та розораності;
– площі водозборів повинні відрізнятися не більше ніж у 10 разів, а їхні середні висоти (для гірських річок) – не більше ніж на 300 м;
– відсутність факторів, що істотно спотворюють величину природного річкового стоку (регулювання стоку, скиди, вилучення на зрошення та інші потреби).

Головні гідрологічні характеристики такі:

- 1) витрата води Q , м³/с;
- 2) обсяг стоку води V , м³;
- 3) модуль стоку води q , м³/(с×км²);
- 4) шар стоку води h , мм;
- 5) рівень води H , м.

6.1.1 Визначення розрахункових гідрологічних характеристик за наявністю даних гідрометричних спостережень

Визначення розрахункових гідрологічних характеристик за наявністю даних гідрометричних спостережень достатньої тривалості здійснюється шляхом застосування аналітичних функцій розподілу щорічних імовірностей перевищення.

Тривалість періоду спостережень вважається достатньою, якщо розглянутий період репрезентативний (показний), а величина відносної середньої квадратичної помилки розрахункового значення досліджуваної гідрологічної характеристики не перевищує 10 %.

Оцінка репрезентативності ряду спостережень за n років проводиться за річками-аналогами із числом років спостережень N ($N > n$, якщо $N > 50$ років).

Емпірична щорічна ймовірність перевищення P_m гідрологічних характеристик визначається за формулою

$$P_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%, \quad (6.1)$$

де m – порядковий номер членів ряду гідрологічної характеристики, який розташовано у регресному порядку; n – загальне число членів ряду.

Емпіричні криві розподілу щорічних імовірностей перевищення будуються на клітковинах ймовірностей. Тип клітковини ймовірностей обирається відповідно до прийнятої аналітичної функції розподілу ймовірностей та отриманого відношення коефіцієнта асиметрії C_s до коефіцієнта варіації C_v .

Параметри аналітичних кривих розподілу – середнє багаторічне значення Q , коефіцієнт варіації C_v відношення коефіцієнта асиметрії до коефіцієнта варіації – встановлюються за гідрометричним рядом спостережень за розглянутою гідрологічною характеристикою методом найбільшої правдоподібності або методом моментів.

Розрахунковий коефіцієнт варіації C_v коефіцієнт асиметрії C_s для трипараметричного гамма-розподілу методом найбільшої правдоподібності варто визначати залежно від статистик λ_2 і λ_3 , обчислюють за такими формулами:

$$\lambda_2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\lg k_i}{(n-1)} \right), \quad (6.2)$$

$$\lambda_3 = \sum_{i=1}^n \left(k_i \cdot \frac{\lg k_i}{(n-1)} \right), \quad (6.3)$$

де k_i – модульний коефіцієнт гідрологічної характеристики, що розглядається та визначається за формулою

$$k_i = \frac{Q_i}{Q}, \quad (6.4)$$

де Q_i – щорічні значення витрат води; \bar{Q} – середнє арифметичне (середнє багаторічне) значення витрат води, що визначається залежно від числа років гідрометричних спостережень n за формулою

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n}. \quad (6.5)$$

За отриманими значеннями статистик λ_2 и λ_3 визначають розрахунковий коефіцієнт варіації та коефіцієнт асиметрії за обов'язковим додатком А [1].

Розрахунковий коефіцієнт варіації C_v та коефіцієнт асиметрії C_s для трьохпараметричного гамма – розподілу та біноміального розподілу методом моментів визначаються за такими формулами:

$$C_v = \left(a_1 + \frac{1}{n} a_2 \right) + \left(a_3 + \frac{1}{n} a_4 \right) \bar{C}_v + \left(a_5 + \frac{1}{n} a_6 \right) \bar{C}_v^2, \quad (6.6)$$

$$C_s = \left(b_1 + \frac{1}{n} b_2 \right) + \left(b_3 + \frac{1}{n} b_4 \right) \bar{C}_s + \left(b_5 + \frac{1}{n} b_6 \right) \bar{C}_s^2, \quad (6.7)$$

де a_1, \dots, a_6 ; b_1, \dots, b_6 – коефіцієнти, які визначаються за обов'язковими додатком В [1]; \bar{C}_v та \bar{C}_s – відповідно зміщені коефіцієнти варіації та асиметрії, які визначаються за такими формулами:

$$\bar{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (6.8)$$

$$\bar{C}_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{-3 C_v \cdot (n - 1) \cdot (n - 2)}. \quad (6.9)$$

Якщо неможливо провести розрахунок відповідно до вимог, допускається застосовувати графоаналітичний та графічний методи. Параметри біноміального розподілу графоаналітичним методом визначаються за такими формулами:

$$S = \frac{(Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%})}{(Q_{5\%} - Q_{95\%})}, \quad (6.10)$$

$$\sigma = \frac{(Q_{5\%} - Q_{95\%})}{(\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%})}, \quad (6.11)$$

$$\bar{Q} = Q_{50\%} - \Phi_{50\%} \cdot \sigma, \quad (6.12)$$

де $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{95\%}$ – величини витрат води вірогідністю перевищення відповідно 5 %, 50 %, 95 %, які встановлені за зглаженою емпіричною кривою розподілу; $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$, $\Phi_{95\%}$ – нормовані ординати біноміальної кривої розподілу, які відповідають розрахованому значенню коефіцієнту зкошенності S .

Величина коефіцієнта асиметрії визначається за функціональною залежністю від коефіцієнта S .

6.1.2 Річний стік води річок та його внутрішньорічний розподіл

Для визначення внутрішньорічного розподілу стоку води за наявності даних гідрометричних спостережень за період не менше 15 років приймаються такі методи:

- розподіл стоку за даними річок-аналогів;
- метод компонування сезонів.

Внутрішньорічний розподіл стоку потрібно розраховувати за водогосподарськими роками, починаючи з багатоводного сезону. Межі сезонів призначаються єдиними для всіх років з округленням до місяця.

Період року і сезон, в якому природний стік може лімітувати водоспоживання, приймаються за обмежувальний період та обмежувальний сезон. В обмежувальний період входять два суміжних сезони, з яких один є найбільш несприятливим щодо використання стоку (обмежувальний сезон).

Для річок із весняною повинню за обмежувальний період приймаються такі два маловодних сезони: літо – осінь і зима. У разі переважання водоспоживання на сільськогосподарські потреби за лімітувальний сезон потрібно приймати літо – осінь, а для гідроенергетики і в цілях водопостачання – зиму.

Для високогірних річок із літньою повинню у разі переважно іригаційного використання стоку за обмежувальний період приймається осінь – зима і весна, а за лімітувальний сезон – весна.

Під час проектування відведення надлишкових вод для боротьби з повенями або під час осушення боліт і заболочених земель за обмежувальний період приймається багатоводна частина року (наприклад, весна і літо – осінь), а за лімітувальний сезон – найбільш багатоводний сезон (наприклад, весна).

Внутрішньорічний розподіл стоку під час розрахування за методом компонування визначається з умов рівності ймовірностей перевищення стоку за рік, стоку за обмежувальний період і всередині його за лімітувальний сезон.

6.1.3 Максимальний стік води річок весняної повені та дощових паводків

Розрахункові гідрологічні характеристики максимального стоку води річок весняної повені та дощових паводків необхідно визначати відповідно до вимог [1].

Для річок із тривалістю стояння максимальних витрат води доба і більше розрахунок здійснюється за середньодобовим значенням, менше доби – за

миттєвими витратами води. У разі проходження максимальної витрати води між рядками спостережень, необхідно дослідити співвідношення між середньодобовими та миттєвими максимальними витратами води.

Розрахункові максимальні витрати води зарегульованих річок визначаються з огляду на розрахункову максимальну витрату води річки в природному незарегульованому стані зі зміною його внаслідок господарської діяльності у басейні річки та трансформації проєктованими або чинними водосховищами.

До значень величин розрахункових максимальних витрат води $Q_{P\%}$ ймовірністю перевищення 0,01 потрібно додавати гарантійну поправку $\Delta Q_{P\%}$, визначається за формулою

$$\Delta Q_{P\%} = \left(\frac{\alpha \cdot E_{P\%}}{\sqrt{n_{np}}} \right) \cdot Q_{P\%}, \quad (6.13)$$

де α – коефіцієнт, що характеризує гідрологічну вивченість річок – для гідрологічно вивчених річок він дорівнює 1,0, а для слабовивчених – 1,5; n_{np} – число років спостережень із врахуванням приведення до багаторічного періоду; $E_{P\%}$ – величина, що характеризує випадкову середню квадратичну похибку розрахункової витрати води щорічної верогідності перевищення $P = 0,01$ %, визначається за обов'язковим додатком В [1].

Гідротехнічні споруди, руйнування яких призводить до катастрофічних наслідків зі значним збитком, необхідно перевіряти на пропуск максимальної витрати води вірогідністю перевищення $Q = 0,01$ % з врахуванням гарантійної поправки.

6.1.4 Мінімальний стік води річок

Визначення розрахункових мінімальних витрат води річок проводиться згідно з вимогами [1].

У разі значних розбіжностей аналітичної кривої та фактичних даних спостережень застосовуються емпіричні криві розподілу ймовірностей перевищення.

Розрахункові мінімальні витрати води річок визначаються для зимового та літнього сезонів і включають такі характеристики: мінімальна середньодобова витрата, мінімальна середньомісячна витрата за календарний місяць, або за 30 днів, з найменшим стоком.

6.1.5 Найвищі рівні води річок і озер

Розрахункові найвищі рівні води річок у створі поста допускається визначати (у разі неоднорідності даних) емпіричної кривої розподілу щорічних

імовірностей перевищення найвищих термінових рівнів води, що належать до фазово-однорідних умов режиму річки.

Для річок, на яких найвищі рівні води спостерігаються в різні сезони й обумовлені різними фазами режиму (наприклад, сніговими повеннями, дощовими паводками тощо), криві розподілу щорічних імовірностей перевищення розраховуються для обох груп фазово-однорідних рівнів води відповідно до вимог [1].

Перенесення розрахункових найвищих рівнів води з одного пункту в інший під час вільного стану русла залежно від наявності даних гідрометричних спостережень проводиться одним із таких способів:

а) за кривими витрат води $Q = f(H)$ для безприточних і малоприточних ділянок;

б) за кривими зв'язку відповідних рівнів води;

в) за ухилом або поздовжнім профілем водної поверхні.

Перенесення на інші створи розрахункових найвищих рівнів води в період льодоходу, за відсутністю заторів льоду на ділянці річки проводиться за графіками зв'язку відповідних рівнів води або кривими витрат води $Q = f(H)$ і витрат води $Q'_{P\%}$, що визначаються за формулою

$$Q'_{P\%} = \frac{Q_{P\%}}{K_{\text{зим}}}, \quad (6.14)$$

де $Q_{P\%}$ – витрата води розрахункової щорічної вірогідності перевищення, $\text{м}^3/\text{с}$; $K_{\text{зим}}$ – коефіцієнт, що враховує зміну гідрравліки потоку під час льодоходу, приймається за даними спостережень в опорному пункті.

6.1.6 Визначення розрахункових гідрологічних характеристик у разі недостатності даних гідрометричних спостережень

За недостатності даних гідрометричних спостережень приведення параметрів кривих розподілу щорічних ймовірностей перевищення гідрологічних характеристик (Q , H , h) до багаторічного періоду з застосуванням парної та множинної регресії здійснюється у разі дотримання таких умов:

$$n' \geq 10; R \geq 0,7; \frac{k}{\sigma_k} \geq 2, \quad (6.15)$$

де n' – число років спільних спостережень; R – коефіцієнт кореляції між величинами гідрологічних характеристик річки, що досліджується, та річки-аналогу; k – коефіцієнт регресії; σ_k – середня квадратична похибка коефіцієнту регресії.

Приведення параметрів кривих розподілу щорічних ймовірностей перевищення розглянутої гідрологічної характеристики (наприклад, витрати води Q) до багаторічного періоду здійснюється у таких двох варіантах:

а) середня багаторічна величина Q визначається за формулою

$$\bar{Q} = \bar{Q}_n + R \left(\frac{\sigma_{n/}}{\sigma_{n/a}} \right) \cdot \left(\bar{Q}_a - \bar{Q}_{n/a} \right), \quad (6.16)$$

де \bar{Q}_n ; $\bar{Q}_{n/a}$ – відповідно для річки, що досліджується, та річки-аналогу середнє арифметичне величин гідрологічної характеристики, що розраховані за період спільних спостережень n' років; \bar{Q} ; \bar{Q}_a – відповідно для річки, що досліджується, та річки-аналогу середні багаторічні величини гідрологічної характеристики за N років; $\sigma_{n/}$; $\sigma_{n/a}$ – відповідно для річки, що досліджується, та річки-аналогу середнє квадратичне відхилення гідрологічної характеристики за спільний період n' років.

Коефіцієнт варіації визначається за формулою

$$C_{V,N} = \frac{\sigma_{n/}}{\bar{Q} \cdot \left(\sqrt{1 - R^2} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{n/a}^2}{\sigma_{N/a}^2} \right) \right)}, \quad (6.17)$$

де $\sigma_{N/a}$ – середнє квадратичне відхилення гідрологічної характеристики за N -річний період для річки-аналогу;

б) за щорічно відновленими з рівнянь регресії значеннями гідрологічної характеристики спільно з даними гідрометричних спостережень розраховуються параметри кривих розподілу відповідно до вимог [1].

Приведення розрахункових гідрологічних параметрів до багаторічного періоду спостережень здійснюється послідовно за декількома рівняннями регресії в порядку убутання парного або множинного коефіцієнтів кореляції за умов дотримання вимог [1].

За наявністю нелінійних зв'язків між гідрологічними характеристиками відновлювати їхні щорічні величини необхідно за період гідрометричних спостережень на річці-аналозі. Параметри розподілу визначаються за відновленим значень стоку спільно з даними гідрометричних спостережень.

6.1.7 Визначення розрахункових гідрологічних характеристик у разі відсутності даних гідрометричних спостережень

Річний стік води річок та його внутрішньорічний розподіл. У разі відсутності даних гідрометричних спостережень величини середнього

багаторічного стоку та коефіцієнта варіації необхідно визначати інтерполяцією між значеннями, отриманими для річок-аналогів за даними найтриваліших рядів гідрометричних спостережень або приведеними до багаторічного періоду в розглянутому районі з врахуванням впливу місцевих факторів (наявність карсту, виходів підземних вод, особливостей геологічної будови басейну, характеру ґрунтів, промерзання та пересихання річок, відмінності в середніх висотах водозборів та інших факторів).

Величини середнього багаторічного річного стоку і коефіцієнта варіації допускається визначати за спільним картками цих параметрів, опублікованих в офіційних документах Держгідромета в сфері гідрології.

Коефіцієнт варіації річного стоку C_v необхідно визначати за формулою

$$C_v = \frac{a}{g^{0,4}} \cdot (A + 1000)^{0,1}, \quad (6.18)$$

де a – параметр, що визначається за даними річок-аналогів, л/с; g – середній багаторічний річний модуль стоку, л/(с×км²); A – площа водозбору річки до розрахункового створу, км².

3. Розрахункове значення відношення коефіцієнта асиметрії до коефіцієнту варіації C_s/C_v визначається відповідно до вимог [1].

Для невивченої річки межі сезонів та лімітувального періоду, середній розподіл стоку за сезонами в частках від річного, співвідношення між коефіцієнтами варіації сезонного та річного стоку, розподіл стоку маловодних сезонів за місяцями для визначення групи водності сезону приймаються за даними річки-аналога.

У разі відсутності надійних аналогів внутрішньорічний розподіл розраховується за районними схемами або за регіональними статистичними залежностями параметрів сезонного стоку від визначальних факторів (площі водозбору, його середньої висоти, характеру ґрунтів, озерності та інших факторів).

Максимальний стік води річок весняної повені. Методи розрахування максимальних витрат води річок весняної повені потрібно застосовувати під час розрахування для водозборів з площами від елементарно малих (менше 1 км²) до 20 000 км² на європейських територіях України.

Розрахункова максимальна витрата води весняної повені $Q_{P\%}$ м³/с, заданої щорічної вірогідністю перевищення $P\%$ для рівнинних та гірських річок потрібно визначати за формулою

$$Q_{P\%} = \left[\frac{K_0 \cdot h_{P\%} \cdot m \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{(A + A_1)^{n_1}} \right] \cdot A, \quad (6.19)$$

де K_0 – параметр, що характеризує дружність весняної повені та визначається за даними річок-аналогів зворотним шляхом; $h_{p\%}$ – розрахунковий шар сумарного весняного стоку (без зрізання ґрунтового живлення), мм, щорічною вірогідністю перевищення $P\%$, який визначається залежно від коефіцієнта варіації C_v та співвідношення C_s/C_v цієї величини, а також середнього багаторічного шару стоку h_0 , що встановлюється за річками-аналогами або інтерполяцією; m – коефіцієнт, що враховує нерівність статистичних параметрів шару стоку і максимальних витрат води, приймається за рекомендованими значеннями [1]; δ – коефіцієнт, що враховує вплив водосховищ, ставків та проточних озер; δ_1 – коефіцієнт, що враховує зниження максимальної витрати води в заліснених басейнах; δ_2 – коефіцієнт, що враховує зниження максимальної витрати води в заболочених басейнах; A_1 – додаткова площа водозбору, яка враховує зниження редуції, км², приймається за рекомендованим додатком [1]; n_1 – показник ступеня редуції, приймається за рекомендованим додатком Г [1].

Середній багаторічний шар весняного стоку h_0 необхідно визначати за даними річок-аналогів або інтерполяцією з урахуванням поправок на вплив місцевих факторів (площі водозбору, озерності, залісненості, заболоченості й розораності), що відрізняються від зональних.

Для малих рівнинних річок з площею водозбору $A < 200$ км² лісостепової, степової, посушливих степів і напівпустельної зон середній багаторічний шар весняного стоку потрібно визначати інтерполяцією з введенням поправочних коефіцієнтів, які визначаються за такими формулами:

а) для лісостепової зони за середніх ухилів водозборів $i_b \leq 70$ %

$$k' = 0,18 \cdot (i_g + 1)^{0,45}. \quad (6.20)$$

Для річок із середніми ухилами водозборів $i_b > 70$ % значення k' дорівнюють одиниці;

б) для посушливих степів, степної та напівпустельних зон

$$k' = 0,15 \cdot (i_g + 1)^{0,80}. \quad (6.21)$$

За наявності озер, розташованих у басейні річки, величину середнього багаторічного шару стоку весняної повені, визначену за інтерполяцією, потрібно вводити коефіцієнт зниження шару стоку весняної повені, який приймається за рекомендованим додатком Г [1].

Для річок із площами водозборів менше 200 км² у значення, отримані інтерполяцією, необхідно вводити поправочні коефіцієнти згідно з даними рекомендованого додатка Г [1].

Уточнення величини поправочних коефіцієнтів до C_v допускається проводити за регіональними залежностями $C_v = f(A)$ для рівнинних річок та $C_v = f(H)$ – для гірських річок, де H – середня висота водозбору, м.

Коефіцієнт δ , який враховує зниження максимального стоку річок, що зарегульовані проточними озерами, необхідно визначати за формулою

$$\delta = \frac{1}{1 + c \cdot A_{oz}}, \quad (6.22)$$

де c – коефіцієнт, який приймається залежно від величини середнього багаторічного шару весняного стоку h_0 за рекомендованим додатком Г [1]; A_{oz} – середньозважена озерність, %, визначається за формулою

$$A_{oz} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{100 \cdot S_i \cdot A_i}{A} \right), \quad (6.23)$$

де S_i – площа зеркала озера, км²; A_i – площа водозбору озера, км².

У разі наявності у басейні озер, розташованих поза головним руслом та основними притоками, величину коефіцієнту δ потрібно приймати для

$$\begin{aligned} A_{oz} < 2 \% &\rightarrow \delta = 1; \\ A_{oz} > 2 \% &\rightarrow \delta = 0,8. \end{aligned}$$

Коефіцієнт δ_1 , який враховує зниження максимальних витрат води у заліснених басейнах, визначається за формулою

$$\delta_1 = \frac{a_1}{(A_{\text{л}} + 1)^{n_2}}, \quad (6.24)$$

де n_2 – коефіцієнт редукції, приймається за рекомендованим додатком Г [1]; a_1 – параметр, приймається за рекомендованим додатком Г [1]; $A_{\text{л}}$ – залісненість водозбору, %.

У разі залісненості менше 3 % або за наявності проточної озерності більше 20 % коефіцієнт δ_1 дорівнює одиниці.

Коефіцієнт δ_2 , який враховує зниження максимальної витрати води заболочених басейнів, визначається за формулою

$$\delta_2 = 1 - \beta \cdot \lg(0,1 \cdot A_{\text{б}} + 1), \quad (6.25)$$

де β – коефіцієнт, приймається за рекомендованим додатком Г [1]; $A_{\text{б}}$ – відносна площа боліт та заболочених лісів і луків у басейні, %;

За наявністю внутрішньоболотних озер, розосереджених по басейну і розташованих поза головним руслом та основними притоками, останні слід включати у величину відносної площі боліт.

У разі заболоченості менше 3% або за проточної відносної озерності більше 20% коефіцієнт дорівнює одиниці. Для гірських річок коефіцієнти δ_1 і δ_2 дорівнюють одиниці.

Максимальний стік води річок дощових повіней. Максимальні витрати води річок дощових повіней $Q_{P\%}$ за наявності річок-аналогів потрібно визначати за редукційною формулою

$$Q_{P\%} = \frac{q_{P\%,a} \cdot \delta \cdot \delta_2}{\delta_a \cdot \delta_{2a} \left(\frac{A_a}{A} \right)^{n_3} \cdot A}, \quad (6.26)$$

де δ , δ_a – відповідно для річки, що досліджується, та річки-аналога коефіцієнти, які визначаються за формулою (6.22) такі: у разі $c = 0,2$ – для лісної та лісостепової зон і $c = 0,4$ – для степової зони; δ_2 , δ_{2a} – відповідно для річки, що досліджується, та річки-аналога коефіцієнти, які визначаються за формулою (6.25) при $\beta = 0,5$; n_3 – коефіцієнт редукції модуля максимальної миттєвої витрати води зі збільшенням площі водозбору, приймається відповідно до рекомендованих додатків Г, Д [1].

Сфера застосування формули (6.26) обмежується вимогами, наведеними у рекомендованому додатку Д [1] у разі дотримання умови

$$k_\Phi \leq 1,5k_{\Phi,a}, \quad (6.27)$$

де k_Φ , $k_{\Phi,a}$ – відповідно для річки, що досліджується, та річки-аналога коефіцієнти форми водозбору, які визначаються залежно від довжини річки від найбільш віддаленої точки водозбору L , км, та площі водозбору A , км², за формулою

$$k_\Phi = \frac{L}{A^{0,56}}. \quad (6.28)$$

У разі недотримання умови (6.27) визначення максимальних миттєвих витрат води річок дощових повіней за наявності річок-аналогів із площами водозборів, вказаних у рекомендованому додатку Д [1], необхідно виконувати за редукційною формулою

$$Q_{P\%} = \left[q_{P\%,a} \cdot \left(\frac{\Phi_a}{\Phi} \right)^{n_4} \cdot \frac{\delta}{\delta_a} \right] \cdot A, \quad (6.29)$$

де n_4 – коефіцієнт редукції модуля максимальної миттєвої витрати води зі збільшенням руслового часу добігання, який визначається за рекомендованими додатками Г, Д [1]; Φ , Φ_a – відповідно для річки, що

досліджується, та річки-аналога морфологічні характеристики русел, які визначаються за формулою

$$\Phi = \frac{1000 \cdot L}{\chi_p \cdot i_p \cdot \chi^{\frac{1}{4}}}, \quad (6.30)$$

де χ_p – гідравлічний параметр русла, який визначається за рекомендованим додатком Д [1]; χ – параметр, який визначається за рекомендованим додатком Д [1]; i_p – середньозважений ухил русла річки, ‰;

Збірний коефіцієнт стоку φ для рівнинних річок за відсутністю річок-аналогів визначається за формулою

$$\varphi = \left(\frac{q_{1\%}}{16,67 \cdot \bar{\psi}(\tau_6) \cdot \delta \cdot H'_{1\%}} \right) \cdot \left(\frac{i_E}{i_{Ea}} \right)^{n_5} \cdot \left[\frac{(A_a + 1)}{(A + 1)} \right]^{n_6}, \quad (6.31)$$

де $16,67 \cdot \bar{\psi}(\tau_6)$ – величина ординати кривої редукції опадів, яка визначається за рекомендованим додатком Д [1]; i_E ; i_{Ea} – відповідно для річки, що досліджується, та річки-аналога середній ухил водозбору, ‰; n_5 – коефіцієнт, який визначається за рекомендованим додатком Д [1]; n_6 – коефіцієнт, який для лісотундри та лісової зони дорівнює 0,07, для інших природних зон – 0,11.

Збірний коефіцієнт стоку φ для рівнинних річок за відсутністю річок-аналогів визначається за формулою

$$\varphi = \left[\frac{C_2 \cdot \varphi_0}{(A + 1)^{n_6}} \right] \cdot \left(\frac{i_E}{50} \right)^{n_5}, \quad (6.32)$$

де C_2 – емпіричний коефіцієнт, приймається для лісової зони дорівнює 1,2; для інших природних зон – 1,3; φ_0 – збірний коефіцієнт стоку для водозбору, площею $A = 10 \text{ км}^2$, з середнім ухилом водозбору $i_b = 50 \text{ ‰}$, приймається за рекомендованим додатком Д [1].

Для гірських річок значення φ приймаються за рекомендованим додатком Д [1].

Якщо середній ухил водозбору $i > 150 \text{ ‰}$, то значення збірного коефіцієнта стоку φ визначається за формулою (6.31) як при $i_E = 150 \text{ ‰}$ та приймається постійним незалежно від величини i_E .

Мінімальний стік води річок. Мінімальні 30-денні (середні місячні) витрати води $Q_{80\%}$, $\text{м}^3/\text{с}$, щорічної ймовірності перевищення $P = 80 \text{ ‰}$ за літньо-осінній та зимовий періоди для середніх та великих річок потрібно визначати за річками-аналогами або інтерполяцією.

Для малих річок із площею водозбору менше 2000 км² за відсутністю карсту – за редуційною формулою.

Перехідні коефіцієнти 30-денних (середніх місячних) витрат води 80 %-ої щорічної імовірності перевищення до мінімальних витрат води інших імовірностей перевищення, а також до мінімальних добових витрат води визначаються за річками-аналогами.

Найвищі рівні води річок і озер. Розрахункові найвищі рівні води річок для вільного стану русла потрібно визначати за максимальною витратою води розрахункової імовірності перевищення $P\%$ і кривої витрат води $Q = f(H)$, яка будується з врахуванням гідравлічних та морфометричних характеристик русла та заплави річки в певному створі.

Розрахункові найвищі рівні весняного водопілля річок встановлюються з урахуванням особливостей водного та льодового режимів річки.

Розрахункові найвищі рівні води річок у період льодоходу визначаються згідно з вимогами [1]. Значення $K_{зим}$ визначаються за річками-аналогами, а у разі їхньої відсутності приймаються такі:

- для малих і середніх річок – 0,80–0,90;
- для великих річок – 0,91–0,95.

Під час визначення розрахункових найвищих рівнів води потрібно враховувати поправку ΔH_3 у таких випадках:

- у разі катастрофічно потужних заторів – понад 5 м;
- у разі сильних заторів – від 3 до 5 м;
- у разі середніх заторів – 3 м і менше.

У разі слабких заторів у величини найвищих рівнів води весняного водопілля поправки не вводяться.

Для проточних озер найвищі розрахункові рівні води визначаються за кривою витрат води $Q = f(H)$ (де H – рівень води озера) для створу у точці витоку річки з озера.

Для бізстічних озер найвищі розрахункові рівні води визначаються за розрахунковим об'ємом притоку $V_{p\%}$ та кривої $V = f(H)$, де V – об'єм озера.

Розрахункові гідрографи стоку води річок весняної повені та дощових паводків необхідно розраховувати під час проектування водосховищ, відведення вод від споруд у період їхнього будівництва, розрахунку затоплення заплави і лиманів, пропуску високих вод через дорожні та інші штучні споруди.

Форма розрахункових гідрографів приймається за моделями високих весняних повеней, які спостерігалися, або дощових паводків із найбільш несприятливої їхньої формою, для яких головні елементи гідрографів та їхнього співвідношення повинні бути близькі до розрахункових.

Для розрахування отворів дорожніх та інших штучних споруд допускається приймати схематизацію гідрографів стоку води річок весняної повені та дощових паводків за геометричними формами.

Гідрографи річкового стоку потрібно розраховувати за рівнозабезпеченими значеннями максимальної витрати води, об'єму стоку води головної хвилі та об'єму весняного водопілля (дощового паводку) розрахункової щорічної ймовірності перевищення.

Розрахункові гідрографи стоку води річок визначаються за такими критеріями:

а) для весняного водопілля – за середньодобовими витратами води; гідрографи внутрішньодобового ходу стоку води розраховуються, якщо величина максимальної миттєвої витрати води в 1,5 рази більше відповідної їй середньодобової витрати води;

б) для дощових паводків – за миттєвими витратами води.

За наявності даних гідрометричних спостережень під час проектування гідрометричних споруд натурна модель гідрографа стоку води річки приймається такою:

а) одновершинна з найбільшою максимальною витратою води – у разі невеликої регульовальної ємності, величина якої значно менше обсягу стоку води весняного водопілля (дощового паводка);

б) загальна з найбільшим обсягом стоку води весняного водопілля (дощового паводка) і найбільшою зосередженістю стоку в центральній частині гідрографа – у разі великих регульовальних ємностей, величини яких співмірні з повним об'ємом стоку води весняних водопіль (дощових паводків);

в) багатoverшинна – для річок із багатoverшинними гідрографами стоку води;

г) загальна для всього каскаду водосховищ за розрахунковим гідрографом припливу до верхнього гідровузлу та гідрографам бічної приточності між гідровузлами.

Загальна тривалість весняного водопілля великих і середніх річок, зокрема дощові паводки на спаді повені, приймається однаковою для всіх років і створів як на головній річці, так і на притоках за умови включення до її межі тривалості всіх повеней.

Розрахунок гідрографів весняного водопілля (дощового паводку) виконується такими методами:

а) переходом від гідрографа-моделі до розрахункового гідрографу шляхом множення ординат гідрографа-моделі на коефіцієнти, що визначаються за такими формулами:

$$k_1 = \frac{Q_{P\%}}{Q_M}; \quad (6.33)$$

$$k_2 = \frac{(V_{P\%} - Q_{P\%} \cdot 86400)}{(V_M - Q_M \cdot 86400)}; \quad (6.34)$$

$$k_3 = \frac{(V_{P\%}' - V_{P\%})}{(V_M' - V_M)}, \quad (6.35)$$

де Q_M і $Q_{P\%}$ – відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа максимальна середньодобова витрата води весняного водопілля або миттєва для дощового паводку, $\text{м}^3/\text{с}$; V_M і $V_{P\%}$ – відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа об'єм головної хвилі, м^3 ;

V'_M і $V'_{P\%}$ - відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа повний об'єм весняного водопілля (дощового паводку), м³;

б) переходом від гідрографа-моделі до розрахункового гідрографа із застосуванням коефіцієнта k_1 , який визначається за формулою (6.33), та коефіцієнта k_t , який визначається за формулою

$$k_t = \left(\frac{q_M}{h_M} \right) \cdot \left(\frac{h_{P\%}}{q_{P\%}} \right), \quad (6.36)$$

де q_M , $q_{P\%}$ – відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа модуль максимальної середньодобової витрати води, м³/(с×км²); h_M , $h_{P\%}$ – відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа шар стоку весняного водопілля (дощового паводку), мм.

Перехід від гідрографа-моделі до розрахункового гідрографа за методом, що вказаний у підпункті «б», можливий тільки у разі дотримання таких умов:

$$\gamma_{P\%} = \gamma_M; \quad k_{S,P\%} = k_{S,M}, \quad (6.37)$$

де $\gamma_{P\%}$ і γ_M – відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа коефіцієнт повноти γ , який визначається за формулою

$$\gamma = \frac{q \cdot t}{0,0116 \cdot h}; \quad (6.38)$$

$k_{S,P\%}$ і $k_{S,M}$ – відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа коефіцієнт несиметричності, який визначається за формулою

$$\gamma = \frac{q \cdot t}{0,0116 \cdot h}. \quad (6.39)$$

Координат гідрографа розрахункового гідрографа визначаються залежно від коефіцієнтів k_1 і k_t за такими формулами:

$$Q_i = Q_{i,M} \cdot k_1; \quad (6.40)$$

$$t_i = t_{i,M} \cdot k_t, \quad (6.41)$$

де Q_i та $Q_{i,M}$ – відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа витрати води в i -ту одиницю розрахункового часу; t_i та $t_{i,M}$ – відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа ордината часу.

За початок відліку часу $t_{i,M}$ приймається початок підйому весняного водопілля (дощового паводку).

Визначення гідрографів внутрішньодобового ходу стоку потрібно виконувати за формулами (6.36) – (6.39) позначення приймаються такі:

– q_m , $q_{p\%}$ – відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа модулі максимальної миттєвої витрати води, $m^3/(c \times km^2)$;

– h_m , $h_{p\%}$ – відповідно для гідрографа-моделі та розрахункового гідрографа максимальний добовий шар стоку весняного водопілля h , мм;

– h_n – шар стоку за період підйому максимальної доюової хвилі весняного водопілля, мм;

– t – тривалість максимальної добової хвилі весняного водопілля, доба та менше.

У разі недостатності даних гідрометричних спостережень потрібно виконувати приведення параметрів головних елементів розрахункового гідрографа до багаторічного.

Форма моделі розрахункового гідрографа стоку води встановлюється шляхом осереднення декількох гідрографів стоку води високих весняних повеней (дощових паводків), виражених у відносних одиницях.

Питання для самоконтролю

1. Які гідрологічні характеристики визначають під час проведення гідрологічних досліджень?

2. З якою метою проводять інженерно-гідрометеорологічні вишукування?

3. Наведіть основи визначення розрахункових гідрологічних характеристик за наявності даних гідрометричних спостережень.

4. Дайте характеристику річного стоку води річок та його внутрішньорічний розподіл. Максимальний і мінімальний стік води річок весняної повені та дощових паводків.

5. Наведіть алгоритм визначення розрахункових гідрологічних характеристик у разі недостатності даних гідрометричних спостережень.

6. Наведіть алгоритм визначення розрахункових гідрологічних характеристик у разі відсутності даних гідрометричних спостережень

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ГІДРОМЕТРІЯ. ГІДРОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ. ОЗЕРА І БОЛОТА

ТЕМА 7 ПОНЯТТЯ ПРО ГІДРОЛОГІЧНІ ПРОГНОЗИ

Науково обґрунтовані передбачення очікуваного гідрологічного режиму називаються *гідрологічним прогнозом*. Розрахунки з метою складання гідрологічного прогнозу називають *гідрологічними попередніми обчисленнями*. Залежно від завчасності прогнози поділяють на *короткострокові* (до 15 діб) і *довгострокові* (до кількох місяців і більше). Залежно від передбачених гідрологічних явищ розрізняють такі прогнози:

- водного режиму (рівнів і витрат води та часу їх настання, обсягів повені та паводків),
- льодового режиму (термінів замерзання і скресання річок, товщини льоду, утворення заторів льоду),
- руслових процесів (загальних і часткових деформацій – природних і тих, що спричинені інженерними спорудами).

Традиційний поділ прогнозів водного режиму на короткострокові та довгострокові стосовно до руслових прогнозів не підходить повною мірою через те, що ними повинні бути охоплені цикли розвитку тих чи інших структурних руслових утворень, зокрема мезоформи та макроформи.

Основою методів гідрологічних прогнозів є гідродинамічні закономірності руху води на водозборах та в русловій мережі, рівняння водного балансу, зв'язку гідрологічних і метеорологічних елементів, закономірності теплообміну у водних об'єктах. Значення гідрологічних прогнозів для народного господарства дуже велике.

За допомогою сучасних засобів зв'язку гідрологічні дані швидко передаються і наносяться на карту. Це дає змогу аналізувати просторово-часові зміни гідрологічних характеристик на великих територіях, що підвищує надійність локальних гідрологічних прогнозів для певних водних об'єктів. Для передавання гідрологічних телеграм існують коди. У разі машинної обробки гідрологічних даних кодовані телеграми можуть бути введені безпосередньо в комп'ютер із каналів зв'язку. Складність гідрологічних явищ, наближеність способів гідрологічних попередніх обчислень, неповнота гідрометричних даних, недостатня точність обумовлюють похибки прогнозів, що враховується у формах випуску прогнозів. Прогнози, що передаються, зазвичай формулюються у такий спосіб:

- дається очікуване числове значення гідрологічної величини із зазначенням її ймовірної похибки, тобто при забезпеченості похибки 50 %, наприклад, витрата води річки дорівнює $600 \text{ м}^3/\text{с}$ у разі ймовірної похибки $\pm 50 \text{ м}^3/\text{с}$;
- вказується діапазон величини та ймовірність того, що передбачена величина виявиться в цьому діапазоні; наприклад, витрата річки з імовірністю 50 % виявиться $700 \dots 800 \text{ м}^3/\text{с}$;

– прогноз випускається у вигляді декількох величин із зазначенням їхньої забезпеченості P ; наприклад, витрата річки $160 \text{ м}^3/\text{с}$ при $P = 75\%$, $180 \text{ м}^3/\text{с}$ при $P = 50 \%$, $200 \text{ м}^3/\text{с}$ при $P = 25 \%$.

Ефективність способів прогнозів оцінюється безрозмірною величиною δ_n/δ , де δ_n – середньоквадратична похибка прогнозів (виходить унаслідок зіставлення прогнозованих явищ із фактичними), δ – середньоквадратичне відхилення прогнозованої гідрологічної величини від норми. Якщо $\delta_n/\delta \approx 1$, то прогноз не має практичного сенсу. Якщо $\delta_n/\delta < 0,5$, методика прогнозу умовно вважається хорошою, у разі $0,5 < \delta_n/\delta < 0,8$ – задовільною.

7.1 Прогнози рівнів та витрат води в річках

Рівні та витрати води у заданому створі річки прогнозуються за даними про відомі (виміряні) гідравлічні елементи потоку в перерізах річки вище за течією. Зазвичай це завдання вирішується для періодів повені та паводків. Під час переміщення водних мас за течією хвиля повені (паводка) трансформується під впливом регулювальної ролі русла та заплави та гідравлічних опорів. Унаслідок цього повинь розпластується, але головні типові фази рівнів і витрат у верхньому створі повторюються в нижньому створі зі зсувом у часі. Прогноз зводиться до розв’язання диференціальних рівнянь неусталеного руху води. Зсув у часі фаз рівнів і витрат через верхній і нижній живі перерізи залежить від швидкості хвилі паводку (повені) C_n , що називається **фазовою швидкістю**. Відношення відстані між створами l до цієї швидкості C_n дає час добігання хвилі паводку τ . Знаючи τ , можна дати прогноз часу настання цієї фази повені (паводка) у створі нижче за течією. Швидкість C_n залежить від середньої швидкості потоку V . У разі неусталеного руху $Q = f(l, \tau)$. Звідки

$$\frac{dQ}{d\tau} = \frac{\partial Q}{\partial \tau} \cdot \frac{dl}{d\tau} + \frac{\partial Q}{\partial \tau} = C_n \cdot \frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial Q}{\partial \tau}. \quad (7.1)$$

Враховуючи, що у разі екстремальних значень Q (на гідрографі) $\frac{dQ}{d\tau} = 0$, з останнього виразу отримаємо

$$C_n = \frac{\frac{\partial Q}{\partial \tau}}{\frac{\partial Q}{\partial l}}. \quad (7.2)$$

Диференційне рівняння нерозривності у разі неусталеного руху таке:

$$\frac{dQ}{dl} + \frac{\partial \omega}{\partial \tau} = 0. \quad (7.3)$$

Вирішуючи разом рівняння (7.2) та (7.3), отримаємо

$$C_n = \frac{\partial Q}{\partial \omega}. \quad (7.4)$$

Через те, що $C_n = V \cdot \omega$, то

$$C_n = V + \omega \cdot \frac{\partial V}{\partial \omega} \quad (7.5)$$

або

$$\frac{C_n}{V} = K_n + \frac{\partial V / B \cdot \partial H}{V / \omega}, \quad (7.6)$$

де K_n – відносна фазова швидкість, тобто швидкість C_n , нормована за швидкістю V ; H – рівень води; B – ширина потоку.

З формули (7.6) виходить, що при

$$\frac{\partial V}{\partial H} = 0 \rightarrow K_n = 1; \quad \frac{\partial V}{\partial H} > 0 \rightarrow K_n > 1; \quad \frac{\partial V}{\partial H} < 0 \rightarrow K_n < 1.$$

Останньому випадку відповідає вихід потоку на заплаву з утворенням кінематичного ефекту потоку. Знайдемо значення K_n у разі $\frac{\partial V}{\partial H} > 0$, оскільки цей випадок зустрічається частіше. Для широкого прямокутного русла

$$\frac{\partial V}{\partial H} > 0. \quad (7.7)$$

Підставляючи у формулу (7.6) $\frac{\partial V}{\partial H}$ та $\omega = B \cdot h$, отримаємо $K_n = 1,5 + y$.

Для параболічного русла (аналогічний вивід не наведено) – $K_n = \frac{2}{3} \cdot (2 + y)$.

Рівні (витрати) води у співставляваних поперечних перерізах річки, що відповідають однаковим фазам їхньої зміни у часі, називають *відповідними рівнями (витратами)*. Час добігання τ обумовлює можливу завчасність прогнозу на даній ділянці річки. Графік зв'язку відповідних рівнів (витрат) отримують за гідрометричними даними за роки, що передують прогнозу.

Для цього будують у поєднаному вигляді графіки $H = H(\tau)$ для верхнього H_v і нижнього H_n перерізів. Потім виділяють на них характерні точки – максимуми, мінімуми, точки перегину тощо. Час добігання τ визначають як різницю між датами настання характерних рівнів. Унаслідок цього будують

графік відповідних рівнів $H_{H,t+\tau} = H_{H,t+\tau}(H_{B,t})$ і графік $\tau = \tau(H_B)$. На ділянках річок без вираженої заплави τ убуває зі збільшенням рівня.

У разі великого обсягу заплави, що регулює стік, τ може збільшуватися під час виходу потоку на заплаву та в усіх випадках утворення кінематичного ефекту.

За відсутністю чіткого зв'язку τ із рівнем можна прийняти $\tau = l/C_n$, обчислюючи C_n , як викладено вище. За наявності паводкових петель графіки відповідних рівнів будують окремо для підйому і спаду повені. З метою узагальнення даних для різних фаз водопілля потрібно побудувати графіки залежності від ухилу поверхні води. Під час руху паводкових хвиль максимальна витрата настає раніше максимального рівня.

У гідрології з метою прогнозів використовуються наближені способи розрахунків трансформації паводків, які названі *інженерними способами*. Їхня точність у багатьох випадках виявляється цілком задовільною. Наведемо один з таких способів для загальної ділянки русла річки. Рівняння нерозривності запишемо у такому вигляді:

$$Q_B - Q_H = \frac{dW}{dt}, \quad (7.8)$$

де W – динамічний обсяг води на ділянці річки, обмежений верхнім та нижнім поперечними перерізами відповідно з витратами Q_B і Q_H .

Як рівняння, що заміняє динамічне рівняння, М. М. Бернадський запропонував використовувати залежність $W = W(H)$, названу ним *аккумулятивною функцією*. Інші способи, запропоновані пізніше, засновані на ідеях М. М. Бернадського або є розвитком їх. Частіше використовується зв'язок між W і витратами води, оскільки існує залежність $Q = Q(H)$.

У разі використання маскінгамівського способу (має назву за назвою річки Маскінгам у США) застосовується рівняння:

$$W = \tau \cdot [k \cdot Q_B + (1 - k) \cdot Q_H], \quad (7.9)$$

де k – ваговий коефіцієнт, що змінюється у межах від 0 до 1,0, в середньому $k \approx 0,2$; якщо $k = 0,5$, то витрата води на ділянці дорівнює загальної цільовій з витрат Q_B та Q_H .

Для визначення τ і k будується графік залежності W від величини, що стоїть у квадратних дужках формули, – середньозважена витрата на ділянці – за різних значень k . Значення k , при якому зв'язок близький до однозначного (петля на графіку найвужча), приймається за розрахункове. За наявності загальної цільових даних W , яке відповідає витратам Q_B і Q_H , обчислюють як добуток середньої площі поперечного перерізу на ділянці на його довжину. Отримане значення τ потрібно зіставити зі значенням τ , підрахованим за такою формулою:

$$\tau = \frac{L}{V} = \frac{2L}{V_B + V_H}, \quad (7.10)$$

де V_B , V_H – середні швидкості потоку відповідно у верхньому та нижньому перерізах.

Знаючи τ та k , можна розрахувати трансформований гідрограф у нижньому створі за гідрографом у верхньому створі, тобто надати прогноз паводку (водопілля). Запишемо рівняння (7.8) та (7.9) у формі різності, що набуде такого вигляду:

$$\begin{aligned} & \frac{Q_{B1} + Q_{B2}}{2} \cdot \Delta t - \frac{Q_{H1} + Q_{H2}}{2} \cdot \Delta t = \\ & = \tau \cdot [k \cdot Q_{B2} + (1-k) \cdot Q_{H2}] - \tau \cdot [k \cdot Q_{B1} + (1-k) \cdot Q_{H1}] \end{aligned} \quad (7.11)$$

$$W_1 - W_2 = \tau \cdot [k \cdot (Q_{B2} + Q_{B1}) + (1-k) \cdot (Q_{H2} + Q_{H1})], \quad (7.12)$$

де Δt – розрахунковий інтервал часу; 1, 2 – індекси, що фіксують початок і кінець інтервалу часу.

Вирішуючи ці рівняння, отримаємо:

$$Q_{H2} = C_{B1} \cdot Q_{B1} + C_{B2} \cdot Q_{B2} + C_{H1} \cdot Q_{H1}, \quad (7.13)$$

де

$$C_{B1} = -\frac{\tau \cdot k - 0,5\Delta t}{\tau - \tau \cdot k + 0,5\Delta t}; \quad (7.14)$$

$$C_{B2} = \frac{\tau \cdot k + 0,5\Delta t}{\tau - \tau \cdot k + 0,5\Delta t}; \quad (7.15)$$

$$C_{H1} = \frac{\tau - \tau \cdot k - 0,5\Delta t}{\tau - \tau \cdot k + 0,5\Delta t}. \quad (7.16)$$

Витрата Q_{H1} приймається як витрата, яку виміряли у нижньому створі у початковий період часу. У разі відсутності вимірювань Q_{H1} приймається під час сталого руху води в річці.

Розрахунковий інтервал Δt може бути виражено годинами або добами залежно від тривалості водопілля. З формул (7.14), (7.15) та (7.16) видно, що

$$C_{B1} + C_{B2} + C_{H1} = 1, \quad (7.17)$$

що може бути використано як контроль правильності розрахунку цих коефіцієнтів. У маскінгамівському способі попереднього розрахунку гідрографа передбачується лінійність водної поверхні між створами.

Параметр k зазвичай менше 0,5, найчастіше $0,25 \leq k \leq 0,4$. Обмеження за вибором інтервалу часу є недоліком методу через те, що в практиці розрахунків та прогнозів на великих річках є дані по стоку тільки за добу. Прийняття іншої одиниці часу неможливо. У разі розрахунку за формулою (7.13) розрахована для попереднього інтервалу часу величина Q_{H2} приймається як початкова витрата в наступному інтервалі часу.

7.2 Прогноз стоку за запасами води в руслах

Запишемо таке рівняння балансу води (на період після сходження снігу в басейні):

$$\sum_{t_0}^{t_0+t} Q \Delta t = W_{t_0} + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_{\Gamma} \Delta t + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_{\Delta} \Delta t, \quad (7.18)$$

де t_0 – дата випуску прогнозу; t – завчасність прогнозу; $\sum_{t_0}^{t_0+t} Q$ – витрата води в кінцевому створі, для якого дається прогноз; W_{t_0} – запас води в руслах у момент часу t_0 ; Q_{Γ} – витрата води, яка зумовлена ґрунтовим (підземним) живленням річки; Q_{Δ} – витрата води, яка спричинена дощами, що випали за час t , рахуючи від t_0 .

Через те, що надходження води в русла випереджає сток води у кінцевому створі річкового басейну, то існує можливість його передбачити (ліва частина рівняння (7.18)) за величинами, які містяться у правій частині рівняння. Якщо рахувати малим стік, який зумовлений дощовими опадами за період t , а підземний стік стабільним, то зв'язок між об'ємом стоку у кінцевому створі та W_{t_0} стає близьким до функціонального. Визначивши такий зв'язок за даними за попередні роки, можна прогнозувати стік за періоди від 5 діб до 1 місяця і більше. Ця саме методика може бути використана для прогнозування найбільших витрат, коли побудовано графік функції $Q_{\max} = Q_{\max(W_{t_0})}$. Запас води у руслі дорівнює сумі запасів води на всіх його ділянках. Якщо відомі морфологічні дані, запас води на ділянці

$$W_{t_{0i}} = (\omega_B + \omega_H) \cdot \frac{l}{2}, \quad (7.19)$$

де ω_B, ω_H – площі живих перерізів у створах, що обмежують зверху і знизу ділянку річки завдовжки l .

Доцільно побудувати графік $W_{t_{0i}} = f(Q)$.

Наближено

$$W_{t_{0i}} = 0,5 \cdot \tau \cdot (Q_B + Q_H), \quad (7.20)$$

де τ – час добігання водної маси на певній ділянці річки визначається, як викладено вище.

Прогноз витрат під час спаду повені (паводку) заснований на використанні рівняння, що виражає виснаження запасів води в руслах та ґрунтових вод. Виведемо це рівняння з припущення, що приплив води на ділянку річки відсутній або малий ($Q_n = Q$). Тому рівняння (7.8), використовуючи позначення, набуває такого вигляду:

$$-Qdt = dW. \quad (7.21)$$

Як друге рівняння приймаємо лінійний зв'язок між витратою Q та об'ємом води W , що виглядає так:

$$W = \tau \cdot Q. \quad (7.22)$$

Якщо загальноцільове це рівняння та підставити dW у рівняння (7.21), то отримаємо

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{dt}{\tau}, \quad (7.23)$$

звідки

$$\int_{Q_0}^{Q_t} \frac{dQ}{Q} = -\int_0^t \frac{dt}{\tau}. \quad (7.24)$$

Рахуючи, що τ не залежить від t , знаходимо

$$\frac{\ln Q_t}{Q_0} = -\frac{t}{\tau}, \quad (7.25)$$

звідки

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-t/\tau}, \quad (7.26)$$

де Q_t – витрата води у момент часу t , що прогнозується; Q_0 – витрата води через той самий живий переріз у початковий момент часу; e – основа натуральних логарифмів.

Якщо розкласти $e^{-t/\tau}$ у ряд та прийняти до уваги два перших члени, то формулу (7.26) запишемо у такому вигляді:

$$Q_t = Q_0 \cdot \left(1 - \frac{t}{\tau}\right), \quad (7.27)$$

що означає лінійне спадання витрати у певному перерізі річки.

7.3 Довгостроковий прогноз об'єму паводку (водопілля)

Прогноз стоку за період водопілля засновано на використанні рівняння водного балансу річного басейну, складеного для цього періоду. За Є. Г. Поповим

$$Y = X - I - U_0 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{X - I}{U_0}\right)\right], \quad (7.28)$$

де Y – стік за період водопілля, мм шару води; X – сума запасів води у сніжному покриві та крижаній кірці (перед початком сніготанення) та весняних опадів, мм шару води; I – інфільтрація під час сніготанення та випадіння дощів, мм шару води; U_0 – кількість води, яка затримана на поверхні басейну у разі заповнення водою всіх безстічних заглиблень (об'єм басейну за відсутністю інфільтрації), мм шару води.

Величину U_0 наближено визначають як середню різницю $(X - Y)$ за роки з найвищим попереднім зволоженням ґрунту в басейні та великою глибиною промерзання ґрунту. Під час розрахунку сніготанення враховуються кількість тепла, що надійшло на поверхню снігу, та втрати тепла через випромінення та випаровування.

Великий внесок у розроблення методу розрахунку сніготанення на фізичній основі вніс П. П. Кузьмін. На танення снігу витрачається близько 33,5 Дж на 1 мм талої води. Для північної половини території України на 1 °С середньодобової температури повітря приходить у середньому 5 мм шару талої води. В густому хвойному лісі цей показник може знизитися до 1,4 мм на 1 °С. Сніг на водозборах залягає нерівномірно, що в методиці розрахування запасів води на водозборі враховується за допомогою інтегральних кривих розподілу запасів води в снігу. За способом В. Д. Комарова В. В. Рахманов дослідив (для басейну р. Ока) кореляційні зв'язки снігозапасів за даними окремих метеорологічних станцій з об'ємом водопілля. Виявилося, що загальноцільові снігозапаси у обраних пунктах (репрезентативних) басейну краще корелюються з весняним стоком річок, ніж ті самі снігозапаси за всіма пунктами снігозйомок.

Одночасно з прогнозами водного і льодового режимів, які систематично випускаються Гідрометцентром та іншими установами Держкомгідромету, велике значення мають прогнози руслових процесів (руслових деформацій) – попередні розрахунки просторово-тимчасової зміни морфологічної будови русел і заплав.

За основу класифікації прогнозів руслових процесів Б. Ф. Сніщенко прийняв такі ознаки:

- загальноцільове призначення прогнозу;
- генезис водотоку;
- різновид водотоку;
- особливості взаємодії інженерних споруд із русловим процесом;
- період попереднього розрахунку;
- метод прогнозу.

Один із різновидів прогнозів руслових процесів – розрахунок часу замулення водосховищ. Прогнози руслових деформацій у разі обвалування річок і заплавних територій відрізняються великою складністю через те, що в цих випадках можуть перебувати у взаємодії різні за своїм рівнем дискретні руслові форми.

Збільшилось значення прогнозування руслових процесів у зв'язку з видобутком (вилученням) нерудних будівельних матеріалів (піску, гравію тощо) з русел і заплав річок. Розроблення кар'єрів в річках сприяє зниженню рівнів води в них і утворенню дефіциту наносів. При знижених рівнях погіршуються судноплавні умови, оголюються водозабори й водовипуски. Дефіцит наносів на гирлових ділянках річок спричиняє абразію морських берегів.

Під час прогнозування руслових деформацій потрібен детальний облік структури потоку, тому такі прогнози об'єднують у собі методи інженерної гідрології та гідравліки.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення гідрологічного прогнозу та наведіть класифікації гідрологічних прогнозів за строку та передбачених гідрологічних явищ.
2. Як виконують та проводять прогнози рівнів та витрат води в річках?
3. Як виконують та проводять прогноз стоку за запасами води в руслах?
4. Наведіть послідовність проведення довгострокового прогнозу об'єму паводку (водопілля).

ТЕМА 8 СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РІВНЯМИ ВОДИ НА ПОСТУ

8.1 Склад і терміни спостережень

Склад і терміни спостережень на постах визначаються їхнім призначенням. Це питання найповніше розроблено для постів Гідрометеослужби України. Для отримання матеріалів, порівнянних із даними державної гідрологічної мережі, необхідно на постах відомчої мережі водночас зі спостереженнями, зумовленими потребами відомств, встановлювати склад і терміни головних спостережень відповідно до вказівок Державного управління гідрометеорологічної служби (далі – ДУГМС).

Склад спостережень визначається розрядом поста. На всіх гідрологічних постах державної мережі проводяться спостереження за такими елементами:

- 1) висотою рівня води;
- 2) температурою води;
- 3) товщиною льоду, снігу на льоду і шуги;
- 4) льодовим режимом, вітром, хвилюванням, опадами, водною рослинністю, зміною русла, початком і припиненням переправи по льоду, сплавом, судноплавством.

Крім того, відзначаються події, які впливають на режим водного об'єкта, а також пов'язані з його використанням, і, нарешті, стихійні явища. До складу спостережень на постах I розряду, крім того, належать такі елементи: вимірювання витрат води, взяття проб води на мутність, вимірювання висоти хвиль на озерах і водосховищах, вимірювання опадів дощомірною установкою, вимірювання висоти і щільності снігового покриву тощо. У разі значної віддаленості від метеорологічних станцій організуються спостереження за температурою повітря.

Спостереження за рівнем води найчастіше підпорядковані загальному завданню обліку стоку води, але можуть мати також самостійне значення. У першому випадку спостереження за рівнем води повинні бути організовані у такий спосіб, щоб унаслідок цього можна було досить точно визначити величину середнього добового рівня. Частота реєстрації висоти рівня протягом доби залежить від особливостей рівневого режиму річки. Головними термінами спостережень є 8 і 20 години. У періоди повені та дощових паводків, крім зазначених строків, необхідно призначати додаткові терміни спостережень через такі рівні проміжки часу: 2, 4, 6 годин, залежно від особливостей і швидкості підйому та спаду хвилі повені або паводку.

На річках зі швидким підйомом і падінням повені або з повінню, що характеризується наявністю низки гребенів на значно розтягнутій загальній хвилі, а також у разі дощових паводків, що настають серіями, необхідно водомірний пост обладнати самописцем рівня. Самописець необхідний також на приливних ділянках річок. У період літньої межені з незначними коливаннями рівня досить проводити спостереження об 8 і 20 годинах. Але якщо в цей період проходять одиночні дощові паводки, проводяться додаткові спостереження через рівні проміжки часу.

У зимовий період головні терміни спостережень зберігаються, але під час замерзання та скресання річки, коли спостерігаються шугоходи, льодоходи та явища зажорів й заторів, що супроводжують їх, на додаток до головних термінів ведуться прискорені спостереження через рівні інтервали. У такий самий спосіб потрібно організувати спостереження й у разі нестійкої льодової обстановки протягом всієї зими. На річках зі стійким тривалим льодоставом із плавною зміною рівня води спостереження досить вести один раз на добу – об 8 годині.

Рівні води на похильних постах вимірюють у строки, встановлені для основного поста за наявності змінного підпору. Щоденні вимірювання ухилу можуть бути припинені в ті періоди, коли наперед відомо, що змінний підпір

відсутній. У ці періоди вимірювання ухилу роблять під час вимірювання витрати води.

8.2 Спостереження на водомірному посту

Вимірювання рівня води. На свайному посту рівень вимірюється за допомогою переносної рейки, що встановлюється вертикально на майданчик найближчої до берега палі, яка покрита водою, а на рейковому посту – по найближчій до берега рейці, що занурена у воду.

На постах, обладнаних самописцями, у склад робіт входить зміна стрічки самописця та систематичний догляд за установкою.

Спостереження за температурою води проводять щодня о 8 і 20 годинах; а на постах, що проводять вимірювання рівня один раз на добу – о 8 годині. Спостереження починають із перших весняних відлиг і припиняють восени через 3–5 діб після встановлення стійкого льодоставу. Узимку під час відлиги й тимчасового порушення крижаного покриття спостереження відновлюють.

На озерах і водосховищах вимірювання температури води виконують одночасно з вимірюванням рівня. Місце вимірювання температури води в річках обирають у створі або поблизу водомірного поста, у прибережній частині з чітко вираженою течією і глибиною не менше 0,3–0,5 м.

Для вибору постійного місця спостережень проводять обстеження ділянки. Обране місце має бути вільним від місцевих спотворень температурного режиму річки (виходи ґрунтових вод тощо). На великих річках температура води в живому перерізі неоднакова, для її визначення роблять вимірювання на декількох вертикалях на різних глибинах.

Для вимірювання температури води на водомірних постах застосовується водний термометр в оправі.

Спостереження за температурою повітря проводять тільки на постах, віддалених більше ніж на 30–50 км від метеорологічних станцій. Безпосередньо на посту температуру повітря вимірюють тільки у разі проведення спеціальних досліджень, наприклад, у процесі вивчення утворення внутрішньоводного льоду тощо.

Спостереження за льодовими явищами проводять із метою висвітлити льодову обстановку на ділянці посту, отримати дані про товщину льоду та шуги. Спостереження ведуть протягом усього зимового періоду. Вимірювання товщини льоду, снігу на льоду й підлідної шуги виконують 10, 20 числа і в останній день місяця. Особливу увагу звертають на явища, які можуть значно змінити природний хід рівня. Серед них насамперед виокремлюють зажори та затори; необхідно встановити місце і час їхнього виникнення і причини утворення. Спостереження за льодовою обстановкою восени та навесні проводять на ділянці поста протягом доби. В осінній період відзначають появу сала, шуги, заберегів, осіннього льодоходу, зажоров. У період льодоставу додатково до вимірів товщини льоду відзначають появу ополонки, тріщин,

криги, у весняний період – появу закраїн, зрушення льоду, льодохід, утворення заторів.

8.3 Обробка результатів водомірних спостережень

Обробка книжок для запису водомірних спостережень. До складу обробки матеріалів спостережень водомірного поста входить таке:

- 1) перевірка польової книжки спостерігача з метою встановлення правильності та необхідної повноти записів;
- 2) обчислення остаточних приведень нулів спостережень і приведення відліків висоти рівня до нуля графіка;
- 3) аналіз результатів спостережень;
- 4) складання річної таблиці «Щоденні рівні води».

Первинна обробка записів проводиться щодня спостерігачем поста та полягає у приведенні відліків рівня до нуля графіка поста і обчисленні середнього рівня за добу. Записи спостерігача перевіряються на гідрологічній станції відразу після отримання книжки за минулий місяць. Обчислення значень рівня води проводиться після перевірки і встановлення значень приведень.

Для контролю матеріалів спостережень рекомендується будувати графік зв'язку між значеннями рівня води на сусідньому і цьому постах (див. нижче). Під час побудови таких графіків використовують ряд спостережень, які охоплюють значно більший період часу, ніж той, який спричиняє сумнів щодо приведень. Крім графіків зв'язку, будують суміщені у часі хронологічні графіки ходу рівня води за всіма постами, прикріпленими до певної гідрологічної станції (рис. 8.1), і аналізують їхню узгодженість.

Неузгоджений хід рівня буде вказувати на моменти зміни приведень, особливості цих змін та їхню величину. Приведені до нуля графіка значення рівня води записують червоним чорнилом у польовий книжці поряд з записами спостерігача. З малих і додаткових спостережень рівня обирають екстремальні значення – найвищі й найнижчі місячні.

Після вибірки екстремальних значень поряд зі значеннями рівня показують умовними знаками крижані утворення. Для контролю та аналізу остаточно встановлених значень рівнів будують комплексний графік результатів гідрометеорологічних спостережень (рис. 8.2), на який наносять температуру повітря і води, рівні води, а також опади, запас води у снігу, висоту снігу на льоду, товщину льоду тощо.

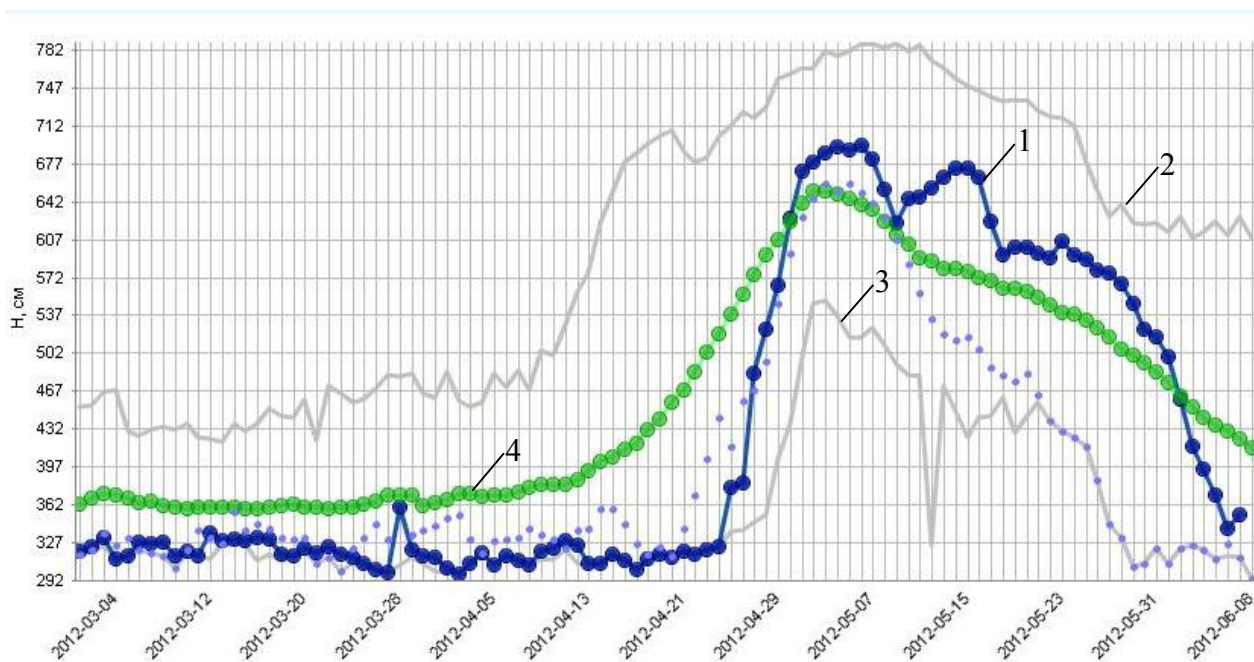


Рисунок 8.1 – Суміщені графіки коливання рівня води:
 1 – рівень цього року; 2 – максимальний рівень за строк спостережень;
 3 – мінімальний рівень за строк спостережень;
 4 – середньостатистичний рівень

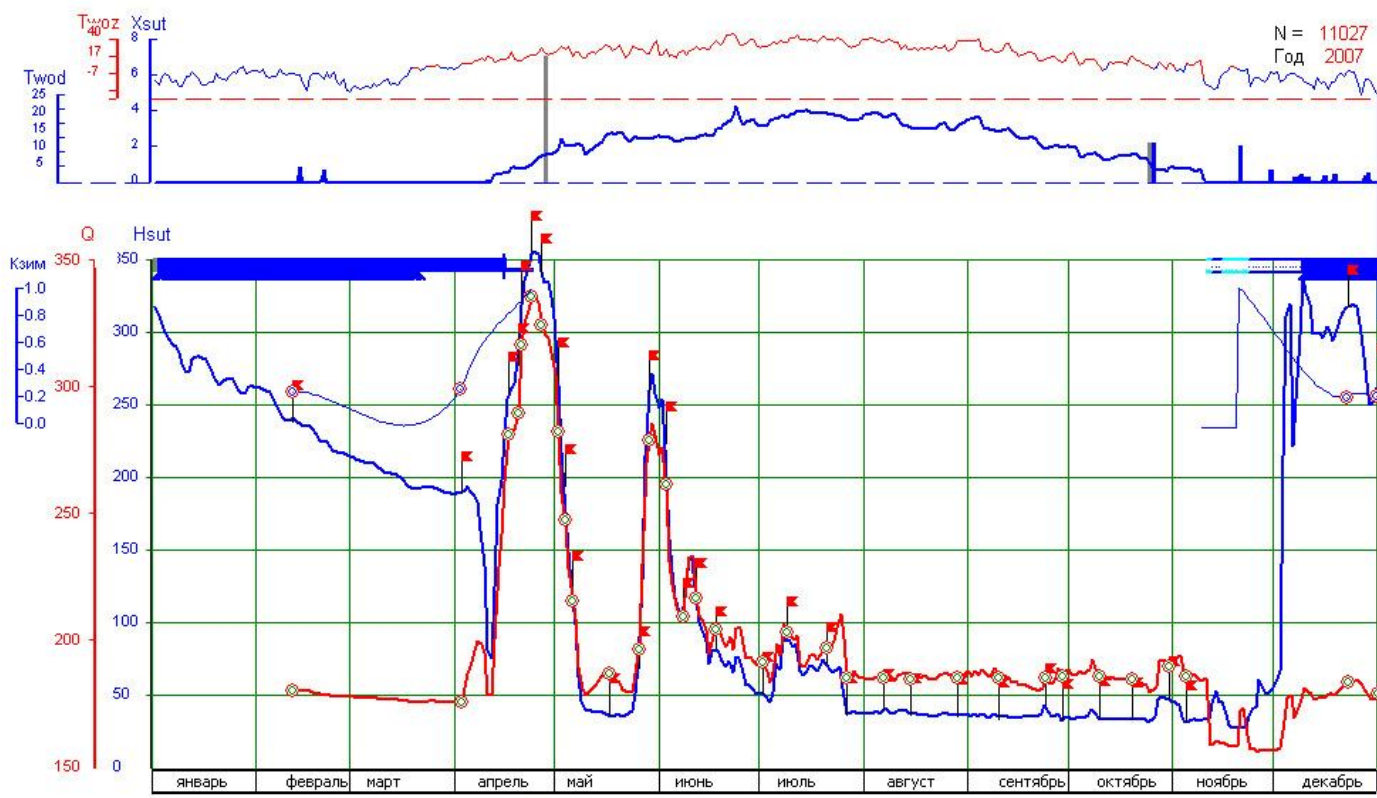


Рисунок 8.2 – Комплексний графік результатів гідрометеорологічних спостережень

Для постів із повним комплексом гідрологічних спостережень на цей графік (рис. 8.2) наносять елементи режиму річки, що спостерігаються (витрати води, каламутність річок тощо).

8.4 Обробка стрічок самописця

До складу обробки стрічки самописця рівня входить:

- 1) перевірка якості запису;
- 2) розмітка запису для знаходження значень рівня;
- 3) зняття ординат (висот) рівнів із запису;
- 4) приведення показань самописця до нуля графіка;
- 5) складання місячної та річної таблиць рівнів.

Уся обробка ведеться на самій стрічці. Перевірка якості запису полягає у критичному перегляді запису, встановленні наявності на стрічці контрольних відміток та їхньої відповідності записам у польовий книжці, а також написів із зазначенням водного об'єкта, дати й позначки нуля графіка.

Розмітка запису може бути зроблена через рівні інтервали часу або за характерними точкам. Спосіб розмітки з рівних інтервалів застосовується у разі плавного ходу рівня з виділенням добового максимуму та мінімуму. У разі розмітки запису за способом характерних точок намічають точки на всіх вершинах, западинах і характерних переломах лінії запису. Незалежно від прийнятого способу необхідно вивірити запис у часі. Нев'язка в часі усувається шляхом пропорційної її розкладки між контрольними зарубками.

Значення рівня знаходять за лінією запису для кожної години, знімаючи відліки від нуля стрічки або іншої початкової ординати. Для визначення цієї ординати слугують відліки рівня за контрольним водомірним постом, виписані на стрічці. Якщо стрічку було розмічено за способом характерних точок, то відліки рівня роблять у місцях зарубок цих точок щодо лінії запису, а час визначають за вивіреною шкалою часу. Якщо між показаннями посту і самописця є різниця, то виявлену нев'язку розносять пропорційно для кожного відліку рівня за стрічкою та відлік за нею відповідно виправляють.

Унаслідок обробки стрічки обчислюють середній рівень за добу та визначають найвищий і найнижчий добові рівні. Середній добовий рівень визначають у таких випадках:

- 1) у разі розмітки запису через рівні інтервали – як середнє арифметичне значення всіх відліків рівня;
- 2) у разі розмітки запису за характерними точками – шляхом підсумовування площ, обмежених лінією рівня запису, межами інтервалів та віссю часу, і поділу одержаної суми на тривалість запису.

Середній добовий рівень можна також визначити планометруванням площі, обмеженої лінією запису, із подальшим поділом її на довжину (абсцису) запису.

На рисунку 8.3 наведено обробку стрічки самописця.

обчислюють як середнє арифметичне з усіх відліків (за умови рівних інтервалів).

У разі складного добового ходу рівня на гірських річках льодовикового живлення, у гирлових ділянках річок, що впадають в приливні моря, а також на озерах і водосховищах під час денівеляцій і регулювання стоку – надійне обчислення середнього добового рівня можливе тільки за умови безперервного запису ходу рівня самописцем.

8.6 Складання річної таблиці та графіку коливань рівня

Спостереження за рівнями води за річний період зводяться в таблицю «Щоденні рівні води» (далі – ЩРВ), в яку виписуються з оброблених польових книжок рівні над нулем графіку поста – середні добові, а у разі однострокових спостереженнях – спостережені. Якщо в польових книжках зустрічаються пропуски в спостереженнях, їх можна заповнити у таких випадках:

а) при пропусках не більше п'яти днів – шляхом лінійної інтерполяції, якщо рівні в цей період змінювалися плавно;

б) при триваліших пропусках зі значними коливаннями рівня – за графіком зв'язку рівнів із найближчим постом на цій річці.

У таблицю вписують також найвищі й найнижчі рівні зі строкових спостережень за кожний окремий місяць і рік загалом.

У таблиці явища льодового режиму та деякі інші характеристики водного об'єкта відзначають умовними позначеннями, які проставляються праворуч від значень рівня (рис. 8.4).

⤿	– забереги;		– вода тече поверх льоду;
•	– сало;	⌋	– закраїна;
×	– рідкий шугохід;	▮	– рух льоду;
✱	– густий шугохід;	▲	– затор;
○	– рідкий льодохід;	▢	– перший і останній парохід;
●	– густий льодохід;	≠	– початок і кінець лісосплаву.
	– льодостав;		

Рисунок 8.4 – Умовні позначення характеристик водного об'єкта

У примітках до таблиці вказують строки пересихання або перемерзання річки у районі поста, а також такі явища, що пояснюють різку зміну висоти рівня: зажор, затор, розбір води на зрошення тощо. Таблиці ЩРВ публікуються у гідрологічних щорічниках.

За даними таблиці ЩРВ будується графік середніх добових коливань рівнів аналогічно зазначеному на рисунку 8.1, на якому, користуючись умовними позначеннями (рис. 8.4), показують фази льодового режиму. Якщо на річці є декілька водомірних постів, то доцільно будувати суміщені графіки коливань рівня (рис. 8.1), що дає змогу судити про розвиток і просування

річкою хвиль повені та паводків, а також про особливості режиму рівня в різні сезони року.

8.7 Спеціальна обробка рівнів

Матеріали спостережень за рівнями води можуть бути піддані додатковій обробці, унаслідок якої можна встановити таке:

- 1) характерні рівні,
- 2) повторюваність і тривалість рівнів.

Крім того, можуть бути визначені статистичні характеристики рівнів, а також типовий розподіл рівнів протягом року; ці питання розглядаються в гідрології.

Характерні рівні. Велике практичне значення мають характерні рівні, які можуть бути визначені як для кожного року окремо, так і для багаторічного періоду. В останньому випадку для кожного характерного рівня вказується його середнє багаторічне і граничні значення – нижчі й вищі.

Для кожного року встановлюється таке:

- 1) вищий річний рівень і дата його настання;
- 2) нижчий річний рівень і дата його настання;
- 3) рівень, за якого річка очистилася від льоду, та його дата;
- 4) рівень, за якого почали з'являтися крижані утворення, і його дата.

Для кожного характерного рівня знаходять такі терміни настання: найранніший, найсередніший і найпізніший. Крайні терміни настання того чи іншого характерного рівня обирають із річних таблиць рівнів, а середні строки обчислюють. Для обчислення середніх строків певного характерного рівня, коли в окремі роки він спостерігається в різні місяці, необхідно терміни кожного року приводити до початку року або до одного найраннішого місяця, а пізніше обчислити середню дату. Наприклад, якщо рівень весняного водопілля приходить за п'ять років на такі терміни: 5/IV, 30/III, 25/II, 5/IV і 15/III, то, наводячи ці дати до початку року, отримаємо таке:

Дата рівня водопілля	Число днів від початку року
5/IV	95
30/III	89
25/II	56
5/IV	95
15/III	74
Усього	409

Під час приведення строків до початку року середній день настання рівня весняного водопілля буде $\frac{409}{5} = 82$ дні, а середня дата $82 - 31(I) - 28(II) = 23(III)$.

Повторюваність та тривалість рівнів. У разі експлуатації річок (судноплавство, сплав, зрошення тощо), а також під час проектування гідротехнічних споруд необхідно знати повторюваність (частоту) рівнів та їхню тривалість (забезпеченість) стояння в певних висотних зонах. Для цього будують графіки повторюваності та тривалості рівнів. Графіки цього типу можуть бути побудовані як для цілого року, так і для окремого його періоду (зимового, літнього) або для періодів весняного й осіннього льодоходів. Вони можуть бути побудовані на підставі обробки рівнів за окремий рік, а також за багаторічний період.

Для підрахунку повторюваності, або частоти стояння рівнів, амплітуда їхнього коливання розбивається за висотою на рівновеликі інтервали через 5–50 см залежно від загальної амплітуди коливань рівня. Підрахунки ведуть шляхом вибірки відповідних даних із річних таблиць рівнів. Результати вибірки заносять у відомість, де рівні в інтервалах зручно розміщувати в порядку спадання.

На графіку повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) рівнів (рис. 8.5) точки повторюваності відкладають у середині відповідного інтервалу, а точки тривалості – у кінці інтервалу. З рисунка 8.5 видно, що крива тривалості є інтегралом кривої повторюваності.

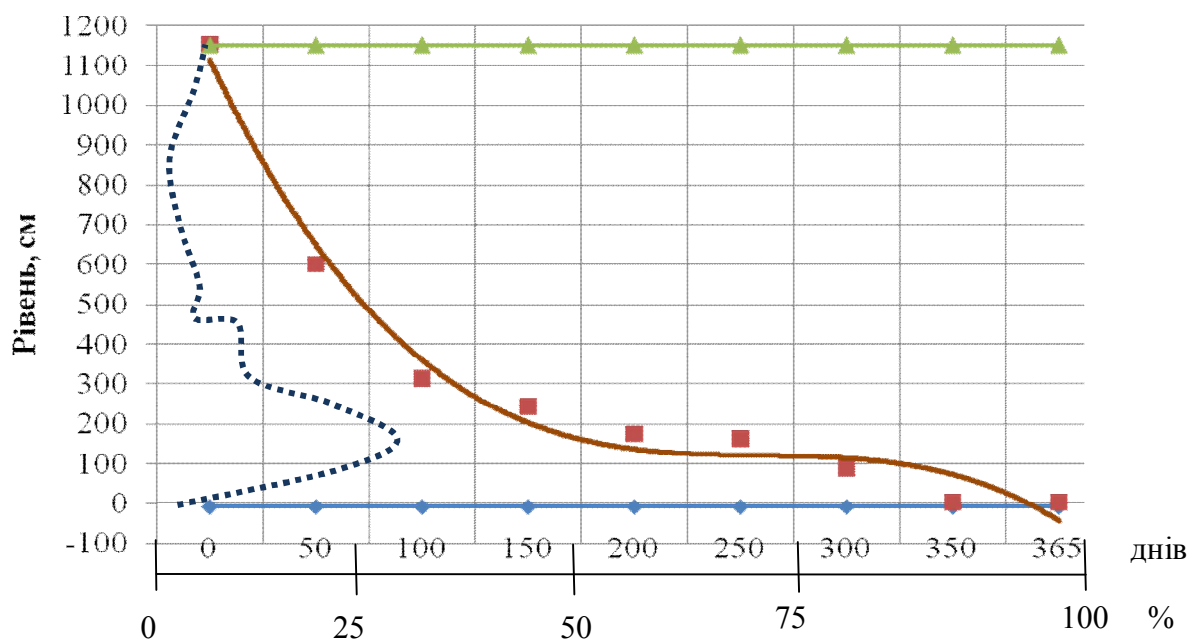


Рисунок 8.5 – Криві повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) рівня:

- ◆— — нижчий рівень води;
- — забезпеченість;
- ▲— — вищий рівень води;
- — частота

Для порівняння результатів обчислень тривалості рівнів, що належать до періодів різної тривалості, зручно на осі абсцис тривалість виражати у відсотках від усього періоду.

8.8 Графік зв'язку відповідних рівнів двох водомірних постів

Вище зазначалося, що для заповнення пропусків у спостереженнях на одному з водомірних постів, а також для виправлення помилкових рівнів можна скористатися графіком зв'язку відповідних рівнів.

На рисунку 8.6 зображено, що коливання рівнів на двох постах, розташованих на одній річці на невеликій відстані один від одного, виявляють очевидну подібність у загальних обрисах і в особливості в розташуванні характерних точок (гребені паводків, низини западин).

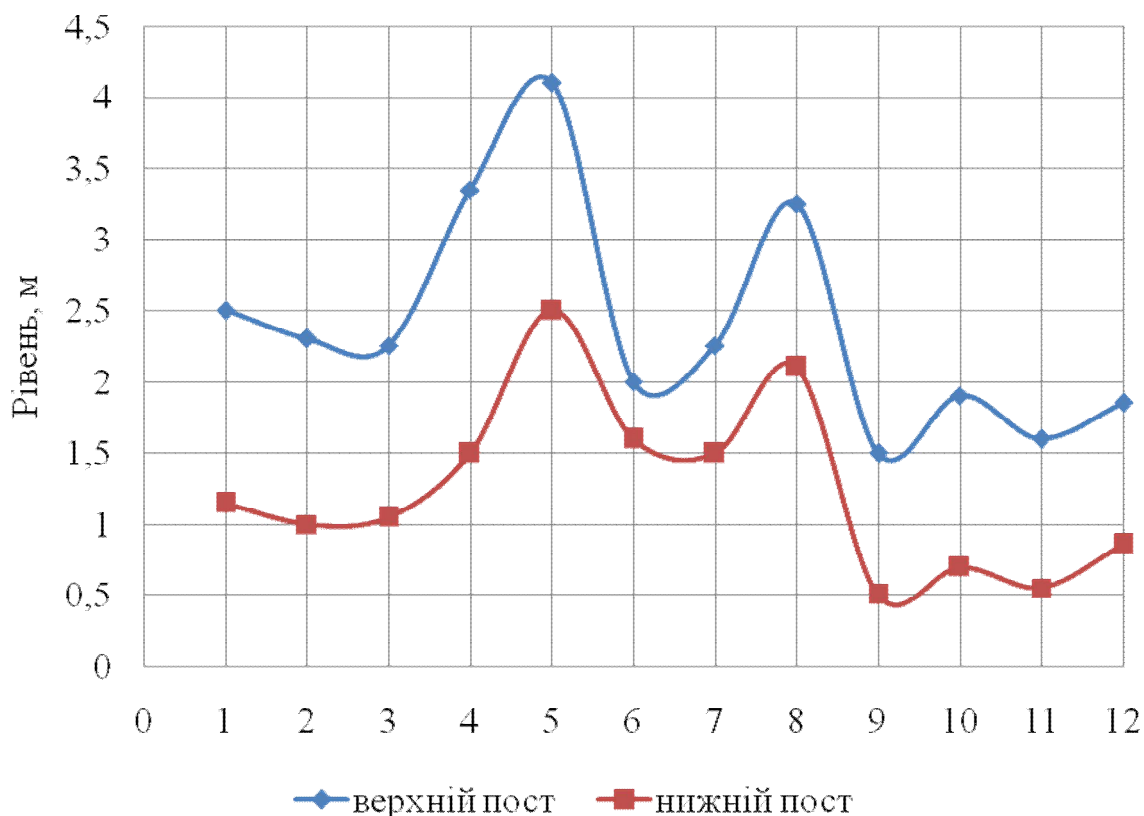


Рисунок 8.6 – Схема до визначення відповідних рівнів

Рівні двох порівнюваних пунктів, що відповідають однорідним фазам, називаються *відповідними*. У часі відповідні рівні двох постів зрушені, що обумовлюється часом добігання води від верхнього поста до нижнього. Побудова графіка зв'язку відповідних рівнів для двох постів виконується так: парні значення відповідних рівнів наносять на графік (рис. 8.7), на якому по вертикальній осі розташована шкала рівнів верхнього поста, а по горизонтальній – нижнього.

Нанесені точки з'єднують прямою або кривою лінією зв'язку. Маючи безперервні спостереження за рівнями по одному з постів, можна заповнити пропущені спостереження для іншого поста. У разі значних відстаней між постами необхідно під час побудови графіка зв'язку відповідних рівнів враховувати час добігання окремо для періодів підйому і спаду рівнів.

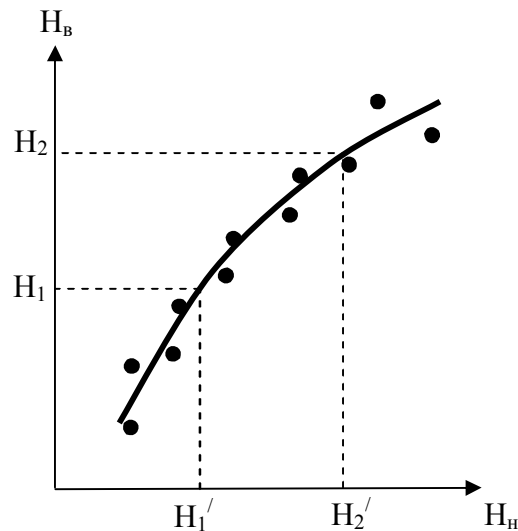


Рисунок 8.7 – Графік зв'язку відповідних рівнів

Зв'язок рівнів вод постів дає змогу відновити багаторічні коливання і обчислити характерні значення рівня одного поста (наприклад, тимчасово розгорнутого в створі проектованої споруди) за даними іншого найближчого на цій річці постійного вод поста.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть склад та терміни спостережень.
2. Як і в якій послідовності виконуються спостереження на водомірному посту?
3. Як виконується обробка результатів водомірних спостережень та стрічок самописця?
4. Наведіть алгоритм обчислення середніх добових рівнів і складання річної таблиці та графіку коливань рівня.
5. З якою метою та коли проводиться спеціальна обробка рівнів?
6. Наведіть графік зв'язку відповідних рівнів двох водомірних постів і дайте його коротку характеристику.

ТЕМА 9 ПОНЯТТЯ ПРО МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Розглянемо такі головні гідрологічні характеристики техногенно-навантаженої території:

1. *Характеристики річного стоку такі:*

- шар середнього багаторічного стоку;
- річний шар стоку заданої забезпеченості;
- шар повного (поверхневого та підземного) стоку за рік;
- середній багаторічний стік;

- повний поверхневий стік заданої забезпеченості;
- випаровування з розглянутої території (середньобагаторічне або заданої забезпеченості);
- величина снігозапасів;
- об'єм річного стоку.

2. Характеристики сезонного стоку:

- шар поверхневого стоку за літньо-осінній період року;
- шар повного стоку за окремий місяць (виокремлений внутрішньорічний період).

3. Характеристики максимального стоку, зокрема весняного водопілля такі:

- середній шар весняного водопілля;
- шар поверхневого стоку весняного водопілля;
- об'єм весняного водопілля;
- максимальні витрати весняного водопілля ймовірності перевищення $P\%$;
- час добігання максимальної витрати води весняного водопілля заданої забезпеченості до замикального створу;
- максимальна витрата дощового паводку заданої забезпеченості в замикальному створі.

Отримані характеристики можуть бути використані як вихідні дані у подальших водогосподарських розрахунках, розробленні комплексів заходів щодо раціонального водооблаштування техногенно-навантаженої території, розробленні комплексної гідролого-гідрогеодинамічної моделі території, так і під час створення або оптимізації системи інженерного захисту природних вод від забруднення.

9.1 Гідрологічні характеристики річного стоку

9.1.1 Шар середнього багаторічного поверхневого стоку

Шар середнього багаторічного поверхневого стоку з водозбору в середині території об'єкта або зі всього об'єкту визначається за формулою

$$Y = \alpha_{cp} \cdot P, \text{ мм}, \quad (9.1)$$

де α_{cp} – середнє значення коефіцієнта річного поверхневого стоку з водозбору на техногенно-навантажених територіях (далі – ТНТ); P – середня багаторічна річна сума опадів (мм), яка визначається за даними спостережень на найближчих метеостанціях (з введенням поправок на змочування, видування тощо) або за картою [1].

Середнє значення коефіцієнта річного поверхневого стоку з водозбору в межах території об'єкта або зі всього об'єкта α_{cp} розраховується за формулою [4, 12]

$$\alpha_{cp} = (\alpha_1 \cdot f_1 + \alpha_1 \cdot f_1 + \dots + \alpha_n \cdot f_n) \cdot \frac{1}{F}, \quad (9.2)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – коефіцієнти річного поверхневого стоку з різних видів поверхонь території, значення яких наведено у таблиці 9.1; f_1, f_2, \dots, f_n – площі різних видів поверхонь (комплексів, що формують стік) розглянутої території, км² (га), які визначаються за планом місцевості масштабом від 1:500 до 1:5000; F – загальна площа виділеного внутрішнього водозбору або всієї ТНТ, км² (га).

Для окремих площ і комплексів, які формують стік та становлять собою природні, ще не змінені, поверхні або поверхні, близькі за формуванням поверхневого стоку до природних, коефіцієнти річного поверхневого стоку приймаються за аналогією з природними ландшафтами відповідної природної зони або відповідного річкового басейну [1].

Таблиця 9.1 – Усереднені значення коефіцієнтів річного поверхневого стоку α для різних видів поверхонь

Різновид поверхні	α	Примітка
1	2	3
Крівлі	0,80–0,95	Для майже плоских кровель $\alpha = 0,80$
Асфальтобетонні покриття	0,80–0,90	Залежно від стану покриття для старих, зруйнованих покриттів $\alpha = 0,80$
Акваторії водотоків (кювети, канави, канали тощо)	0,70	–
Відкоси насипів, відвалів, дамб	0,50–0,65	Залежно від механічного складу матеріалу поверхні для більш пористих матеріалів $\alpha = 0,50$
Брущаті мостові та чорні щебеневі покриття доріг	0,50–0,60	Для щебневих пористих покриттів $\alpha = 0,50$
Бруковані мостові	0,45	–
Щебеневі покриття, необроблені в'язучими матеріалами	0,40	–
Гравійні покриття	0,30	–
Грунтові поверхні (сплановані)	0,20	–
Несплановані, неущільнені відвали	0,15	–
Захаращені насипні поверхні, покриті трав'янистою рослинністю	0,15	–
Газони	0,10	–

9.1.2 Річний шар стоку заданої забезпеченості

Річний шар стоку заданої забезпеченості розраховується аналогічно річному середньобогаторічному стоку за формулою

$$Y = \alpha_{cp} \cdot P_{P\%}, \text{ мм}, \quad (9.3)$$

де $P_{P\%}$ – річна сума опадів заданої забезпеченості, мм.

Річні суми опадів заданої забезпеченості визначаються через коефіцієнти переходу (K_P) від середніх багаторічних річних величин опадів до опадів різної забезпеченості для різних територій [1] за залежністю

$$P_{P\%} = P \cdot K_P, \text{ мм}, \quad (9.4)$$

Забезпеченості стоку відповідають забезпеченостям опадів.

9.1.3 Шар повного (поверхневого і підземного) стоку за рік

Величина повного стоку на ТНТ розраховується, якщо мережа внутрішніх водотоків більше, ніж на 90 % дренує всю товщу масиву, що досліджується.

Шар повного стоку (середній багаторічний) визначається за формулою

$$Y_{повн} = P - E \pm \Delta S, \text{ мм}, \quad (9.5)$$

де P – сума опадів за рік середня багаторічна, мм; E – випаровування за рік середнє багаторічне, мм; ΔS – зміна снігозапасів на розглянутій території, яка визначається за допомогою таких природних факторів: величина опадів, вітрове перенесення і ввезення (вивезення) додаткових обсягів снігових мас, мм.

Сума опадів P визначається за даними спостережень на найближчих метеостанціях (з введенням необхідних поправок) або за картою [1].

Величину випаровування за рік для всієї території України можна отримати

$$E = E_0 \cdot \frac{E}{E_0}, \quad (9.6)$$

де E_0 – річне випаровування (середнє багаторічне), мм [1]; $\frac{E}{E_0}$ – відносне випаровування [1].

Зміна снігозапасів за рахунок вітрового переносу снігу ΔS розраховується за формулою

$$\Delta S = K_{сн} \cdot (P_x - E_x), \text{ мм}, \quad (9.7)$$

де P_x – сума опадів за холодний період року, що визначається за даними найближчої метеостанції, мм; E_x – випаровування за холодний період року, мм.

Для об'єкта, що становить терикон, враховуючи його крутість і висоту, $K_{сн}$ приблизно дорівнює 0,20 – 0,40 (для більш високих і крутих териконів

приймаються менші значення). Для об'єкта, що становить котлован, $K_{сн}$ приблизно дорівнює 0,10 – 1,10 (залежно від ширини, глибини котловану і крутизни та експозиції схилів, наприклад, для неглибоких котлованів із пологими укосами й великою площею приймається менше значення коефіцієнта).

Повний середньобагаторічний стік заданої забезпеченості розраховується за формулою

$$Y_{повн, P\%} = Y_{повн} \cdot K_P, \text{ мм}, \quad (9.8)$$

де $Y_{повн}$ – середній багаторічний шар повного стоку, розрахований за формулою (9.5); K_P – коефіцієнт переходу від середніх багаторічних річних величин опадів до опадів різної забезпеченості для території [1].

Середня багаторічна величина випаровування E для поверхонь, близьких до природних, за окремий місяць розраховується за такими формулами:

$$E = E_0, \text{ якщо } \frac{M_1 + M_2}{2} \geq M_{\kappa}; \quad (9.9)$$

$$E = E_0 \cdot \frac{M_1 + M_2}{2M_{\kappa}}, \text{ якщо } \frac{M_1 + M_2}{2} \leq M_{\kappa}, \quad (9.10)$$

де E , E_0 – відповідно випаровування і випаровуваність, мм; M_{κ} – величина критичної вологості метрового шару ґрунту, мм; M_1 , M_2 , – продуктивні вологозапаси ґрунту відповідно на початок і кінець місяця, мм;

Випаровуваність визначається за формулою

$$E_0 = K \cdot \Sigma d, \text{ мм} \quad (9.11)$$

де Σd – сума середньодобових дефіцитів вологості повітря (за даними спостережень на найближчих метеостанціях) за розрахунковий період у n діб, мм; K – біологічний коефіцієнт випаровуваності, залежить від часу року й різновиду поверхні (для місць розміщення відходів коефіцієнт K приймається для «чорного» пара або лугової рослинності).

Випаровуваність можна також визначити за графіками залежності від випаровуваності дефіциту вологості повітря в окремі місяці для різних природних зон [1].

За холодний період року в умовах відсутності снігового покриву випаровуваність на зазначеній території розраховується за залежністю

$$E_0 = 0,55 \cdot d_{cp} \cdot n, \quad (9.12)$$

де n – тривалість холодного періоду, діб.

За наявності снігового покриву випаровуваність за холодний період року визначається за формулою

$$E_0 = 0,37 \cdot d_{cp} \cdot n. \quad (9.13)$$

Критичну вологість для природних ґрунтів можна визначити за такою залежністю:

$$M_{\kappa} = 0,8 \cdot M_n, \quad (9.14)$$

де M_n – найменша продуктивна вологоємність, мм.

Продуктивна вологоємність – продуктивні запаси вологи в метровому шарі ґрунту для різних зон України з урахуванням механічного складу ізолювальних шарів приймаються за [1], а залежно від сезону року – за таблицею [1].

9.2 Гідрологічні характеристики внутрішньорічного стоку

Шар поверхневого стоку за літньо-осінній період року визначається за формулою

$$Y_l = \alpha_{cp,l} \cdot P_l, \text{ мм}, \quad (9.15)$$

де $\alpha_{cp,l}$ – середнє значення коефіцієнта літньо-осіннього поверхневого стоку з водозбору в межах його території або з усієї території; P_l – сума опадів за літньо-осінній період, мм.

Середнє значення коефіцієнта літньо-осіннього поверхневого стоку з водозбору в межах території об'єкта або зі всього об'єкта $\alpha_{cp,l}$ розраховується за формулою

$$\alpha_{cp} = (\alpha_{1,l} \cdot f_1 + \alpha_{2,l} \cdot f_2 + \dots + \alpha_{n,l} \cdot f_n) \cdot \frac{1}{F}, \quad (9.16)$$

де $\alpha_{1,l}$, $\alpha_{2,l}$, ... $\alpha_{n,l}$ – коефіцієнти літньо-осіннього поверхневого стоку з різних видів поверхонь території об'єкту розміщення відходів; f_1, f_2, \dots, f_n ; F – ті самі позначення, що й у формулі (9.2).

Коефіцієнти літньо-осіннього поверхневого стоку з різних видів поверхонь території об'єкта розміщення відходів обираються з таблиці 9.2 [1].

Таблиця 9.2 – Осереднені значення коефіцієнтів літньо-осіннього поверхневого стоку $\alpha_{\text{л}}$ із різних видів поверхонь

Поверхня	$\alpha_{\text{л}}$	Примітка
Крівлі	0,60–0,80	Для кровлі з меншим ухилом приймається менше значення $\alpha_{\text{л}}$
Асфальтобетонні покриття	0,60–0,75	Залежно від стану покриття для старих, зруйнованих покриттів рекомендується $\alpha_{\text{л}} = 0,60$
Бруківані мостові	0,40	–
Грунтові поверхні	0,02–0,16	Для сильно захаращених неспланованих поверхонь рекомендується $\alpha_{\text{л}} = 0,02$
Газони	0,10	–

Поверхневий стік на території внаслідок підняття рівня фільтрату до денної поверхні розраховується за формулою

$$Y_{\text{пов.ф}} = P_{\text{р.п.}} - E_{\text{р.п.}} - 10^3 \cdot \mu \cdot H_{\text{н}} - \Delta M_{\text{Г}} - \Delta M_{\text{П}}, \text{ мм}, \quad (9.17)$$

де $P_{\text{р.п.}}$ – атмосферні опади, що випали за розрахунковий період, мм; $E_{\text{р.п.}}$ – сумарне випаровування за розрахунковий період, мм; μ – коефіцієнт водовіддачі; $H_{\text{н}}$ – рівень підземних вод на початок випадіння дощу, м; $\Delta M_{\text{Г}}$ – початкова водоакумулювальна ємність ґрунтів (мас відходів), мм; $\Delta M_{\text{П}}$ – водоакумулююча ємність поверхні залежно від її стану, мм.

Шар повного стоку за окремий місяць або виокремлений всередині річний період (середній багаторічний та заданої забезпеченості) визначається за формулою

$$Y_{\text{повн}} = P - E \pm \Delta S, \text{ мм}, \quad (9.18)$$

де P – сума опадів за місяць або за виділений період (середня багаторічна або заданої забезпеченості), мм; E – випаровування за місяць або за виділений період (середнє багаторічне або заданої забезпеченості), мм; ΔS – зміна снігозапасів шляхом вітрового перенесення снігу з території на територію (за наявності снігового покриву) або завезеного (вивезеного) ззовні, мм.

9.3 Максимальний стік

9.3.1 Гідрологічні характеристики весняного водопілля

Середній багаторічний шар весняного водопілля (паводку) для території, що розглядається, або виокремленого всередині неї водозбору (за умови, що урбанізовані території займають не більше 35 % загальної площі) визначається за формулою

$$Y_B = Y_{0B} \cdot \delta_Y, \text{ мм}, \quad (9.19)$$

де Y_{0B} – середній багаторічний шар весняного водопілля (без зрізання ґрунтового живлення), мм; δ_Y – поправочний коефіцієнт до середнього шару стоку (об'єму) весняного водопілля, який враховує вплив урбанізованої території.

Середній багаторічний шар весняного водопілля визначається за картами, які наведені у [1].

Величина поправочного коефіцієнту δ_Y до середнього шару стоку (об'єму) весняного водопілля розраховується за формулою

$$\delta_Y = 1 + 0,02 \cdot f_{ym\%}, \quad (9.20)$$

де $f_{ym\%}$ – площа урбанізованої території у відсотках від загальної площі водозбору.

Шар поверхневого стоку весняного водопілля для техногенно-навантажених територій визначається за формулою

$$Y_{\text{в.нов}} = \alpha_{\text{ср.в}} \cdot P_x, \text{ мм}, \quad (9.21)$$

де $\alpha_{\text{ср.в}}$ – середнє значення коефіцієнту весняного поверхневого стоку з окремого водозбору або зі всієї території; P_x – сума опадів за холодний період року, мм.

Середнє значення коефіцієнту весняного поверхневого стоку з водозбору всередині території об'єкта або зі всього об'єкта розраховується за формулою

$$\alpha_{\text{ср.в}} = (\alpha_{1\text{в}} \cdot f_1 + \alpha_{1\text{в}} \cdot f_1 + \dots + \alpha_{n\text{в}} \cdot f_n) \cdot \frac{1}{F}, \quad (9.22)$$

де $\alpha_{1\text{в}}, \alpha_{2\text{в}}, \dots, \alpha_{n\text{в}}$ – середні коефіцієнти поверхневого весняного стоку з різних видів поверхонь (комплексів, що формують стік), які виділені у межах території, що розглядається, або водозбору; f_1, f_2, \dots, f_n – площі різних видів виокремлених поверхонь; F – загальна площа виокремленого водозбору або всієї території.

Шар поверхневого стоку весняного водопілля для окремого комплексу, що формує стік, визначається за формулою

$$Y_{\text{в.нов}} = \alpha_{\text{в}} \cdot P_x. \quad (9.23)$$

Коефіцієнти весняного поверхневого стоку α для різних видів поверхонь (комплексів, що формують стік) визначаються за таблицями 9.3–9.5.

Таблиця 9.3 – Середні значення коефіцієнтів весняного поверхневого стоку $\alpha_{\text{в}}$ для різних видів поверхонь

Поверхні	$\alpha_{\text{в}}$	Примітка
Кривлі та асфальтобетонні покриття доріг	0,95	—
Водотоки (кювети, канави, канали тощо).	0,95	—
Поверхні, де росте багато чагарників, захищені та покриті трав'янистою рослинністю поверхні	0,40–0,60	Залежно від ухилу поверхні (при ухилі $< 2^\circ$ рекомендується приймати $\alpha_{\text{в}} = 0,40$)
Газони	0,20–0,70	Залежно від ухилу поверхні (при ухилі $< 2^\circ$ рекомендується приймати $\alpha_{\text{в}} = 0,30$)
Щебеневі покриття, необроблені в'язкими матеріалами	0,50	—
Гравійні покриття	0,50	—
Грунтові погано зплановані слабопохилі поверхні	0,40	—

Таблиця 9.4 – Коефіцієнти весняного поверхневого стоку $\alpha_{\text{в}}$ залежно від форми споруд*

Умови стікання	Грунти	$\alpha_{\text{в}}$
Терикон із закладанням укосів менше 4	важкий суглинок	0,60
	легкий суглинок	0,55
	супісь	0,50
Терикон із закладанням укосів більше 4	важкий суглинок	0,65
	легкий суглинок	0,60
	супісь	0,55
Полігон у виїмці	важкий суглинок	0,75
	легкий суглинок	0,70
	супісь	0,65

Примітка * З врахуванням вітрового перенесення снігу з території та на територію об'єкта.

Таблиця 9.5 – Коефіцієнти весняного поверхневого стоку $\alpha_{\text{в}}$ для природних поверхонь

Грунти	Ухили*		
	$< 0,01$	0,01–0,05	$> 0,05$
Добре водопроникні	0,10–0,20	0,15–0,25	0,20–0,30
Середньо водопроникні	0,15–0,25	0,20–0,30	0,25–0,40
Нижче середньої прониклості	0,20–0,30	0,25–0,45	0,35–0,60
Слабо водопроникні	0,25–0,40	0,30–0,60	0,50–0,75
Мерзлі	0,35–0,60	0,40–0,75	0,80–0,95

*Примітка. Менші значення приймаються для менших ухилів поверхні, більші – для більших.

Об'єм весняного водопілля для всієї території або внутрішнього водозбору (за умови, що урбанізовані території займають не більше 35 % загальної площі) W_B визначається за формулою

$$W_B = Y_{0B} \cdot F \cdot \delta_Y, \text{ тис. м}^3, \quad (9.24)$$

де F – площа всієї території або внутрішнього водозбору ТНТ; δ_Y – поправочний коефіцієнт до середнього шару стоку (об'єму) весняного водопілля (визначається за формулою (9.20)).

Максимальна витрата весняного водопілля вірогідності перевищення $P\%$ у кінцевому створі внутрішнього водозбору розраховується за формулою

$$Q_{\max P, \%} = q_{\max P, \%} \cdot \delta_{yt} \cdot F, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (9.25)$$

де $q_{\max P, \%}$ – максимальний модуль стоку весняного водопілля з одиничної площі вірогідності перевищення $P\%$, $\text{м}^3/\text{с}$, який визначається на підставі формули редукції максимальних модулів стоку

$$q_{\max P, \%} = k_p \cdot A_{\max P, \%}, \quad (9.26)$$

k_p – коефіцієнт розмірності (для годинникової одиниці часу добігання дорівнює 0,28); δ_{yt} – коефіцієнт, що враховує зниження максимальної витрати весняного водопілля унаслідок великої різноманітності поверхонь, що формують стік, у місцях розміщення відходів, дорівнює 0,8–0,9; $A_{\max P, \%}$ – максимальна інтенсивність сніготанення вірогідності перевищення $P\%$, $\text{мм}/\text{год}$.

Максимальна інтенсивність сніготанення ймовірності перевищення $P\% = 1\%$ може бути визначена за картою ізолій [1].

Модулі максимального стоку 1 %; 10 % і 25 % ймовірності перевищення визначаються за таблицею 9.6.

Максимальні витрати весняного водопілля ймовірності перевищення $P\%$ у замикальному створі внутрішнього водозбору (для площ водозборів до 10 км^2) розраховується за формулою

$$Q_{\max P, \%} = \frac{0,28 \cdot Y_{BP\%} \cdot k_{\max} \cdot \delta_{yt} \cdot F}{\tau_g + 3}, \quad (9.27)$$

де $Y_{BP\%}$ – повний шар стоку весняного водопілля заданої вірогідності перевищення, мм , визначається залежно від коефіцієнта варіації середнього багаторічного шару стоку весняного водопілля, співвідношення C_s/C_v , а також середнього багаторічного шару весняного водопілля (формула (9.19)); k_{\max} – коефіцієнт дружності водопілля, який становить співвідношення максимального добового шару до всього шару водопілля заданої ймовірності перевищення (значення k_{\max} для дружніх весен визначаються за таблицею 9.6);

Таблиця 9.6 – Коефіцієнти дружності водопілля

Природна зона	Лісна	Лісостепна	Степна
k_{\max}	0,2	0,3–0,5	0,5–0,6

F – загальна площа виділеного внутрішнього водозбору, км²; τ_e – час добігання максимальної витрати води весняного водопілля до кінцевого створу, год.; δ_{yt} – те саме, що й у формулі (9.25).

Час добігання максимальної витрати води весняного водопілля заданої забезпеченості до кінцевого створу τ_e визначається за формулою

$$\tau_e = \tau_p + \tau_{cx0}, \text{ год}, \quad (9.28)$$

де τ_p – час добігання руслом, год.:

$$\tau_p = \frac{L_p}{V_p}, \text{ год}, \quad (9.29)$$

L_p – довжина русла, м; V_p – швидкість потоку в руслі, м/год., розраховується за формулою Шезі для відкритого русла

$$V_p = C \cdot \sqrt{R \cdot i}; \quad (9.30)$$

τ_{cx} – час добігання схилами, год;

$$\tau_{cx0} = \frac{L_{cx}}{V_{cx}}, \text{ год}, \quad (9.31)$$

L_{cx} – найбільша довжина схилу, м; V_{cx} – швидкість добігання схилами, в перший період сніготанення: у разі руху талих вод під снігом $V_{cx} = 0,001\text{--}0,005$ м/с (3,60–18 м/год); у разі струмкового стікання (після оголення частини ґрунту від снігу) $V_{cx} = 0,1\text{--}0,2$ м/с (360–720 м/год) і далі V_{cx} збільшується до 0,5 м/с (1800 м/год).

Питання для самоконтролю

1. Наведіть алгоритм проведення розрахунку гідрологічних характеристик річного стоку.
2. Наведіть алгоритм проведення розрахунку гідрологічних характеристик внутрішньорічного стоку.
3. Наведіть алгоритм проведення розрахунку максимального стоку.

ТЕМА 10 ОРГАНІЗАЦІЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

10.1 Вибір ділянки річки та місця для встановлення поста для гідрологічних спостережень

Ділянка річки (озера, водосховища) і місце для встановлення постових пристроїв обираються залежно від поставлених цілей і завдань спостережень. У всіх випадках необхідно прагнути до того, щоб місце, обране для обладнання поста, відображало особливості режиму рівнів цієї ділянки водного об'єкта. На рівнинних річках ділянка, що намічена для встановлення поста, має бути без заплави, а за її наявності потрібно віддати перевагу найпрямішій та найвужчій заплаві з рівним рельєфом, без проток і стариць, вільну від деревної та чагарникової рослинності. Широких заплав варто уникати через те, що наявність заплави сильно ускладнює вимірювання витрати води. Річка на ділянці поста повинна протікати одним руслом, не розбиваючись на рукави та протоки. Русло має бути пряме, але потрібно мати на увазі, що на дуже довгих і широких ділянках великих річок, розташованих за напрямом панівних вітрів, може бути спотворення ходу рівнів від згінно-нагінних явищ, що виникають під впливом вітрів. У руслі річки не повинно бути осередків, островів і обмілин, що спричиняють косоструйність течії, поперечні ухили, підпори, а також сприяють утворенню заторів і зажорів льоду. Русло річки має бути стійким, тобто не піддаватися розмиву або значному замуленню, не повинно бути засмічено карчами й не заростати водною рослинністю (очеретом, тростником, рдестом), оскільки це ускладнює вимірювання витрат води.

Район розташування посту повинен перебувати за межами поширення підпору від приток, штучних споруд та водоприймача даної річки. На ділянці не повинно бути лісових бірж і пристаней із великим вантажообігом, видобування піску і гравію з річки, купальних пляжів, скидів промислових каналізаційних вод, які можуть спотворювати природний режим річки та заважати роботі посту.

Під час вибору поста на гірських річках необхідно додатково до зазначених вище умов прагнути розташовувати пост вище стремнин і порогів, там, де течія відносно спокійна, русло річки не захаращене валунами й уламками скель, а також звернути особливу увагу на стійкість русла як у висотному, так і в плановому значенні. Потрібно мати на увазі, що і круті, і дуже пологі береги незручні для встановлення поста й ускладнюють виконання спостережень; найзручніші береги середньої крутизни (20–30°).

На озерах і водосховищах значного розміру мережу водомірних постів мають розташовувати у такий спосіб, щоб дані вимірювань на них дали змогу обчислювати середній рівень, зокрема, в умовах денівеляцій, тобто спотворень рівневої поверхні під впливом вітру, стоку річок, що впадають в озеро і впливають з нього, скидання води з водосховища тощо. Варто при цьому зважати на те, що на величину денівеляцій впливають морфологічні особливості будови улоговини водойми й узбережжя (ізрізаність берегової лінії, глибини, наявність мілководних заток тощо). Отже, у разі організації

мережі водомірних постів на великому озері (водосховищі) необхідно попередньо вивчити причини коливання рівня води за різних умов. Початковий намічений план розміщення мережі водомірних постів у подальшому повинен бути уточнений на підставі вивчення матеріалів спостережень, отриманих унаслідок роботи створеної водомірної мережі. Вивчення матеріалів спостережень дасть змогу також намітити пункти, які доцільно обладнати самописцями рівня для підвищення точності спостережень та обліку добового ходу рівня під впливом денівеляцій. У разі влаштування постів на озерах і водосховищах особливу увагу необхідно приділяти захисту водомірних установок від руйнівного впливу прибою та льоду. Обираючи місце для поста, який тільки відкривається, варто зважати на наявність населених пунктів у цьому районі, засобів повідомлення та поштово-телеграфного зв'язку. Дотримання всіх цих умов практично не завжди можливо, але вони повинні прийматися до уваги під час вибору найбільш раціонального варіанта.

Полеві роботи під час вибору ділянки річки й місця для встановлення поста. Перед виїздом на рекогносцирувальне обстеження річки або озера для вибору ділянки для гідрологічних спостережень необхідно попередньо ознайомитися з районом і ділянкою річки (озера) за літературними та архівними матеріалами та іншими джерелами. Рекогносцирувальне обстеження ділянки річки найзручніше проводити в літній час під час низького стояння рівнів води. Під час обстеження проводять такі роботи:

- загальний огляд ділянки річки для з'ясування її стану й особливостей гідрологічного режиму,
- виявлення змінного підпору,
- глазомірно-бусольну зйомку ділянки з промірами глибин і визначеннями швидкостей течії,
- опитування місцевого населення для виявлення особливостей режиму річки.

Загальний огляд ділянки. Обстеження ділянки починають із загального огляду, для чого корисно залучити обізнану людину з місцевих жителів, щоб мати можливість отримати від неї довідки про стан ділянки та особливості її гідрологічного режиму в періоди повені та паводків, весняних і осінніх льодоходів, літньої та зимової межені. У процесі огляду необхідно виявити розміри та режим коливань рівня, загальні властивості характер течії річки, стан її меженного русла, ширину річки в межень і водопілля, загальний стан її заплави, стійкість ложа річки та стан її берегів, заростання русла, наявність природних і штучних причин утворення змінного підпору, наявність регулювальних перерізів (пороги, вузькості), ступінь каламутності води в різні пори року, особливості льодоходів та льодоставу, можливість утворення заторів, зажорів і ополонік; для малих річок необхідно з'ясувати можливість їхнього промерзання до дна взимку й пересихання влітку. Додатково до цього оцінюються умови берега для встановлення водомірних пристроїв і ділянки річки в загалом щодо зручності гідрологічних спостережень.

Виявлення змінного підпору на ділянці. Найскладнішим завданням є виявлення можливості та наявності змінного підпору, який, як і нестійкість

русла річки, знижує точність гідрометричних вимірювань і ускладнює їхню обробку. Причинами виникнення змінного підпору можуть бути такі:

- штучне регулювання стоку річки греблею, розташованою нижче ділянки, що обстежується;
- природні коливання рівнів води приток, що впадають нижче запланованого створу, або рівнів водоприймача (річки, озера, моря);
- тимчасові стиснення русла річки льодом (затори, зажори) або деревиною, що сплавляється (запани, заломы);
- деформації русла, що спричиняють значні зміни у дні;
- значне заростання русла безпосередньо нижче запланованого створу.

Дальність поширення підпору від гідротехнічних споруд може бути з'ясована з матеріалів досліджень і проекту споруд або опитуванням осіб, що обслуговують споруду, і місцевих жителів. Якщо немає таких даних, то дальність поширення підпору може бути наближено визначена за формулою [2]

$$L \approx \alpha \cdot \frac{h_0 - z}{i}, \quad (10.1)$$

де L – поширення підпору, м; i – середній ухил водної поверхні за відсутністю підпору; h_0 – середня глибина русла за відсутністю підпору, м; z – підпір безпосередньо вище його джерела, м; α – коефіцієнт, що залежить від співвідношення z/h_0 та визначається з таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Значення коефіцієнта α залежно від співвідношення z/h_0

Показник	Значення показників				
z/h_0	5,0	1,0	0,5	0,2	0,05
α	0,96	0,85	0,76	0,58	0,24

Величини, що входять у формулу, беруть із матеріалів вишукувань, або вони можуть бути наближено визначені на місці. Під час визначення дальності поширення підпору, що виникає внаслідок природних коливань рівня води приток або водоприймача, за величину z приймають повну амплітуду коливань рівня у водоприймачі.

Імовірність появи змінного підпору від тимчасового стиснення русла, деформації дна і рослинності, а також його приблизну величину і дальність поширення з'ясовують під час опитування місцевих жителів. Враховуючи можливість помилки під час обчислення дальності поширення підпору за формулою та при визначенні її за опитуванням жителів, рекомендується для остаточного використання встановлену межу поширення підпору приймати з деяким запасом. Якщо в районі, що намічено для встановлення поста, немає ділянок, вільних від змінного підпору, то в цих випадках завдання зводиться до знаходження такої ділянки, де змінний підпір виражений слабше і тривалість його найменша. Для спостережень за режимом ухилів водної поверхні на такій ділянці необхідно встановити похильні водомірні пости.

10.2 Топографічні та промірні роботи

Топографічна зйомка виконується безпосередньо після вибору ділянки. Мета цих робіт – отримати план ділянки з нанесеними на ньому планово-висотними характеристиками водного об'єкта і прилеглої до нього місцевості із зазначенням розташування постових постів. Обсяг топографічних робіт зі зйомки ділянки залежить, з одного боку, від розмірів водного об'єкта, а з іншого – від складу робіт поста, який відкривається. Для більшості гідрологічних постів виконується напівінструментальна зйомка ділянки. Для постів на великих річках зі складним рельєфом русла та заплави напівінструментальна зйомка є попередньою; після влаштування всіх постових установок на таких станціях проводиться інструментальна планово-висотна зйомка. Напівінструментальна зйомка охоплює такі роботи:

- а) прокладання планово-висотної основи;
- б) нівелювання профілів і проміри глибин;
- в) вимірювання швидкостей та напрямів поверхневих течій;
- г) глазомірну зйомку ситуації і складання плану;
- д) опис ділянки.

Плановою та висотною основою зйомки слугують магістраль і поперечники. Межі зйомки за шириною річки визначаються відмітками найвищого (історичного) рівня води, вони повинні бути вище нього на 0,5–1,0 м, а за довжиною – розмірами річки. Так, на річках завширшки в межень до 100 м ділянка має дорівнювати п'ятикратній ширині річки, а на більш широких річках – дво- або трьохкратній ширині меженного русла.

На річках із широкими заплавами довжина зйомки встановлюється залежно від особливостей заплави. Якщо ділянка поста знаходиться не далі ніж 10 км від репера державної висотної мережі, то одночасно зі зйомкою проводиться висотна прив'язка реперів поста, а план зйомки і профілі подаються в системі абсолютних відміток. На підставі проведених робіт складається план ділянки та окремо викреслюються поперечні профілі русла за матеріалами промірних робіт. Інструментальна топографічна зйомка ділянки проводиться в межах всієї ширини заплави річки й передбачає такі роботи у повному обсязі:

- а) прокладання планової та висотної основ зйомки;
- б) нівелювання поперечних профілів через долину річки;
- в) проміри глибин;
- г) нівелювання миттєвого поздовжнього профілю водної поверхні;
- д) мензульну або теодолітну зйомку рельєфу й ситуації долини, заплави та русла річки;
- е) визначення значень і напрямів швидкості течії;
- ж) складання опису ділянки річки.

Межі зйомки та масштаби призначають з огляду на міркування, що й у разі напівінструментальної зйомки.

10.3 Опис ділянки під час проведення гідрологічних спостережень

Головне завдання опису полягає в тому, щоб надати всі необхідні відомості для судження про головні риси гідрологічного режиму річки, стану ділянки її в районі поста й умовах гідрологічних спостережень. Опис за потреби ілюструється фотографіями, замальовками та схемами та має містити такі дані:

а) загальні відомості про річку, озеро (найменування, басейн річки, довжина річки, площа дзеркала озера, площа басейну);

б) загальні відомості про ділянку поста (на якому километрі від гирла знаходиться, площа водозбірного басейну для певного створу, найменування поста, адміністративні характеристики місця розташування станції: держава, область, район, сільрада, засоби повідомлення і зв'язок зі станцією та постом);

в) морфологічні та морфометричні характеристики ділянки (коротка характеристика долини й заплави річки із зазначенням ширини долини та заплави, властивостей схилів і дна долини, будови, рельєфу, ґрунтів і рослинного покриву заплави, форми обрису меженного русла в плані, властивостей берегів, ширини русла і розподілу глибин в ньому, ґрунтів дна, ступеня стійкості русла й берегів, заростання русла водною рослинністю, ухилів водної поверхні, загальних особливостей течії ріки, швидкостей течії та їхнього спрямування);

г) головні характеристики водного режиму, а саме: загальні особливості коливань рівнів води протягом річного циклу з розподілом за сезонами року, особливості добового коливання рівнів, середня і найбільша амплітуда коливання рівнів, можливість пересихання та перемерзання русла, орієнтовні міркування про витрату води в межень і під час водопілля;

д) зимовий режим, а саме: процеси замерзання і скресання, властивості льодоходу і льодоставу, наявність внутрішньоводного льоду та шуги;

е) відомості про господарське використання річки (для водопостачання, сплаву, судноплавства, зрошення, енергетики), коротку характеристику водогосподарських споруд і пристроїв, розташованих поблизу ділянки посту, робота і експлуатація яких може впливати на режим річки.

Питання для самоконтролю

1. Як виконують вибір ділянки річки та місця для встановлення посту?
2. З якою метою та як проводяться топографічні та промірні роботи?
3. Наведіть положення про головні характеристики, які входять до опису ділянки.

ТЕМА 11 ВЗАЄМОДІЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

11.1 Гідротехнічні споруди

Гідротехнічні споруди – споруди, призначені для використання водних ресурсів (річок, озер, морів, ґрунтових вод) або для боротьби з руйнівною дією водної стихії. Залежно від місця розташування гідротехнічні споруди можуть бути морськими, річковими, озерними, ставковими. Розрізняють також наземні та підземні гідротехнічні споруди.

Згідно з галузями водного господарства, що обслуговуються, гідротехнічні споруди поділяють на такі:

- водноенергетичні;
- меліоративні;
- водотранспортні;
- лісосплавні;
- рибогосподарські;
- для водопостачання та каналізації;
- для використання водних надр;
- для благоустрою міст;
- спортивних цілей тощо.

Розрізняють гідротехнічні споруди *загальні*, що застосовуються майже для всіх різновидів використання вод, і *спеціальні*, що зводяться для однієї галузі водного господарства. До загальних гідротехнічних споруд належать такі:

- водопідпірні;
- водопровідні;
- регуляційні;
- водозабірні;
- водоскидні.

Водопідпірні споруди створюють напір або різницю рівнів води перед спорудою та за нею. До них належать греблі дамби.

Гребля – гідротехнічна споруда, що перетинає річку (або інший водотік) для підйому рівня води перед ним, зосередження напору в місці розміщення споруди і створення водосховища. Водогосподарське значення греблі різноманітне, а саме: підйом рівня води та збільшення глибин у верхньому б'єфі сприяють судноплавству, лісосплаву, а також водозабору для потреб зрошення і водопостачання.

За головним матеріалом греблі поділяють на такі:

- земляні греблі,
- кам'яні греблі,
- бетонні греблі (рис. 11.1–11.2),
- дерев'яні греблі.

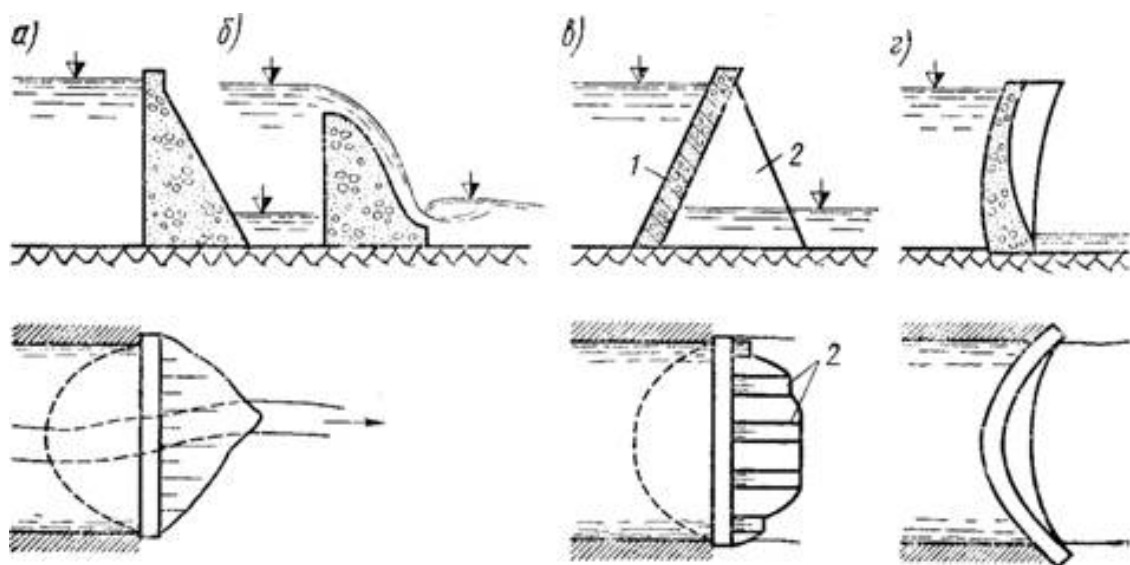


Рисунок 11.1 – Схеми бетонних гребель:

а – гравітаційна гребля з поперечним перерізом у формі трикутника;

б – гравітаційна гребля з поперечним перерізом у формі трапеції;

в – контрфорсна гребля; г – арочна гребля;

1 – стінка; 2 – контрофорс



а)



б)

Рисунок 11.2 – Багатоарочна гребля Бартлет (США) (а) та арочна гребля на річці Заале (Німеччина) (б)

Водопровідні споруди (водоводи) слугують для перекидання води в задані пункти. До таких споруд належать канали, гідротехнічні тунелі, лотки, трубопроводи.

Деякі з них, наприклад канали, через природні умови свого розташування, необхідність перетину шляхів сполучення і забезпечення безпеки експлуатації потребують пристрою таких гідротехнічних споруд, що об'єднуються в

особливу групу споруд на каналах: акведуки, дюкери, мости, поромні переправи, загороджувальні ворота, водоскиди, шугоскиди тощо.

Водозабірні (водоприймальні) споруди влаштовують для забору води з джерела води й направлення її у водовід. Крім забезпечення безперебійного постачання споживачів водою у потрібній кількості та в потрібний час, вони захищають водопровідні споруди від потрапляння льоду, шуги, наносів тощо.

Водоскидні споруди слугують для пропуску надлишків води з водосховищ, каналів, напірних басейнів тощо. Вони можуть бути русловими й береговими, поверхневими і глибинними, що дають змогу частково або повністю спорожнити водойми.

Ця тема присвячена оцінці наслідків гідротехнічного будівництва на водні об'єкти довкілля. Оцінка впливу на навколишнє середовище (далі – ОВНС) проводиться комплексно на підставі чинних законів, кодексів, інших нормативних актів та затверджених методик.

Головні напрями впливу гідротехнічних споруд на навколишнє середовище наведено у таблиці 11.1. У таблиці показано різні аспекти впливу гідротехнічних споруд (далі – ГТС) на компоненти природно-технічного комплексу (далі – ПТК).

Таблиця 11.1 – Головні напрями впливу гідротехнічних споруд на навколишнє середовище

Вплив на довкілля																											
Вплив на природне довкілля													Вплив на антропогенне довкілля														
Режим водотоку				Елементи атмосфери		Елементи літосфери		Елементи біосфери			Господарська діяльність							Соціальне середовище									
Гідравлічний режим Русловий режим Льодотермічний режим Санітарний стан та гідрохімічний режим				Клімат		Склад атмосферного повітря		Гідрогеологія та гідрохімія прилеглих територій		Геодинамічні процеси		Гідробіологічний режим Тваринний світ (іхтію, терію, орнітофауна) Грунти та рослинність			Енергетика							Водо- та енергоємне виробництво Добуток корисних копалин Сільське господарство Лісне господарство Рибне господарство Судноплавство Водопостачання та каналізація Транспорт і комунікації Водні та земельні ресурси Інфраструктура регіону Демографія та охорона здоров'я Переселення населення Ринок праці Комфортність та благоустрій умов Податкова база					

11.2 Вплив гідротехнічних споруд на режим водотоку

Гідравлічний режим водотоку. Створення великих гідровузлів на річках вносить великі зміни в їхній природний гідрологічний режим. Унаслідок регулювальної дії водосховища стік річки в нижньому б'єфі стає більш

рівномірним протягом року. Регулювальний вплив водосховищ позначається на значних за течією ділянках річки нижче гребель і поширюється до її гирла.

Регулювальний вплив водосховища призводить до істотного перерозподілу стоку порівнюючи зі звичайним станом, оскільки зменшуються витрати паводку та збільшуються витрати межені. Цей перерозподіл істотніший у разі більшої регулювальної (корисної) ємності водосховища.

Природний водний режим річки в нижньому б'єфі може бути порушено також під час комплексного використання водосховища й відбирання з нього порівняно значних обсягів води для цілей іригації або перекидання стоку в басейни інших річок.

Вплив неусталеного руху, що виникає в нижніх б'єфах енергетичних гідровузлів унаслідок добового та тижневого регулювання стоку, поширюється на рівнинних річках на відстань до декількох сотень кілометрів від греблі.

Русловий режим водотоку. Затримка водосховищем твердого стоку та перерозподіл у часі стоку води призводить до зміни руслового процесу у верхньому та нижньому б'єфах гідровузла. Переважальною в природних умовах оборотні деформації русла, обумовлені транзитним транспортом наносів, які надходять із площі водозбору, після спорудження гідровузла змінюються необоротними деформаціями. Створення водосховища призводить до того, що велика частина наносів (а у великих водосховищах на рівнинних річках практично всі наноси) осідає в ньому, і в нижній б'єф вода надходить проясненою. Унаслідок цього відбувається поступове занесення чаші водосховища донними наносами та його замулення зваженими наносами. У цих умовах у нижньому б'єфі потік, транспортувальна здатність якого виявляється недостатньою, починає насичуватися за рахунок розмиву ділянки нижнього б'єфа, що примикає до гідровузла. Ця ділянка перетворюється в зону живлення наносами розташованої нижче частини річки. У руслі починають розвиватися незворотні деформації, у яких переважає загальний розмив.

Водночас із трансформацією русла нижнього б'єфа, будівництво гідровузлів спричиняє його місцеві деформації, зумовлені підвищеною турбулізацією, місцевим зосередженням і змінюванням напрямку потоку під впливом гідротехнічних споруд і регуляційних робіт.

Причиною обвалення берегів у нижньому б'єфі є зазвичай інтенсивна суфозія (*суфозія* – процес винесення деяких компонентів ґрунту підземними водами; це можуть бути дрібні тверді частинки (фізична суфозія), розчинні солі (хімічна суфозія)) ґрунту берегових укосів фільтраційним потоком, спрямованим в русло в періоди різкого спаду рівнів води в річці у разі практично миттєвого відключення агрегатів ГЕС.

У процесі переформування русла нижнього б'єфа, який перебудовується відповідно до нового гідрологічного режиму потоку, у багатьох випадках відзначається зменшення звивистості русла та вирівнювання різниці між обсягами русла на плесових і прокатних ділянках.

У зимовий період експлуатації гідровузлів хвилі добового регулювання можуть бути причиною зрушень льоду і заторних явищ, коли крижані поля,

заведені в рух хвилями попусків, нагромаджуючись один на одного, можуть перекрити окремі рукави багаторукавних русел.

Льодотермічний режим водотоку. Експлуатація гідровузла істотно впливає на перетворення льодотермічного режиму водотоку як у верхньому, так і в нижньому б'єфах. У верхньому б'єфі гідровузла зазвичай відбувається збільшення глибини й ширини потоку, що призводить до зниження швидкостей течії та інтенсивності турбулентного перемішування на цій ділянці річки. Температурний режим верхнього б'єфа залежить від часу повного водообміну, обсягу та глибини в його частині біля греблі, морфометричних параметрів рельєфу, температури та витрати води і льоду, що надходять у верхню частину водосховища.

У річному термічному циклі водосховищ виокремлюють п'ять таких періодів:

1. *Перший період* (весняне нагрівання до 4 °С) настає після розкриття водосховища від льоду. Незабаром після розтину водосховища стійка стратифікація, що спостерігалася в зимовий період, порушується і виникає вільно-конвективне перемішування.

2. *У другому періоді* відбувається інтенсивне прогрівання води від 4 °С і вище. Перенесення тепла всередину водної товщі здійснюється шляхом турбулентного перемішування.

3. Протягом *третього періоду* (осіннього охолодження до 4 °С) так само, як і в першому періоді, спостерігається інтенсивне вільно-конвективне перемішування, а турбулентне перемішування порівнюючи з ним грає підлеглу роль. Відмінність полягає в тому, що тривалість цього періоду значно більше першого.

4. *У четвертому періоді* відбувається передльодоставне охолодження нижче 4 °С і знову виникає стійка стратифікація, головну роль грає турбулентне перемішування.

5. Початок *п'ятого періоду* (зимового режиму під крижаним покривом) збігається з моментом встановлення льодоставу на водосховищі. Температурний режим цього періоду відрізняється більшою стабільністю порівнюючи з режимом інших періодів.

Особливості льодового режиму водосховищ пов'язані з особливостями їхнього термічного режиму. Льодові умови змінюються не тільки в часі, але й за площею акваторії водосховища. Ці зміни можуть бути досить істотними та залежать, насамперед, від глибин: у результаті біля берегів, де глибини менше, крижаний покрив виникає раніше, виявляється більш товстим і зникає зазвичай пізніше, ніж у відкритій частині.

У хвостовій частині водосховищ зазвичай формуються затори внаслідок різкого уповільнення швидкості руху крижаних полів, що надходять з верхніх ділянок річки, торошення та занурювання крижин під льодову масу, що зупинилася, в період осіннього та весняного льодоходів. Під час зниження рівнів води у водосховищі може відбуватися осадження маси затору на дно, а у разі підйому рівнів – її спливання та переміщення водосховищем.

Кількісні закономірності льодових процесів для річок і водосховищ здебільшого отримують на підставі аналізу та узагальнення матеріалів багаторічних натурних спостережень і розрахунково-теоретичних напрацювань. В основі обробки вихідної інформації лежить, головним чином, статистичний аналіз багаторічних низок спостережень.

Інтенсивність і послідовність розвитку зажорних явищ за довжиною нижнього б'єфа визначаються, передусім, такими морфологічними особливостями русла: чергуванням ділянок з великими і малими ухилами дна (перекат – плесо) у поєднанні з гідрометеорологічними умовами.

Гідрохімічний режим водотоку. Створення водосховищ призводить до значних змін умов формування якості води. Гідрохімічний режим б'єфів ГЕС є наслідком природних процесів утворення і танення льоду, випаровування та випадання опадів, антропогенного навантаження на водойму, а також наслідком процесів самоочищення, що складаються під впливом припливу у водосховищі, бічній приточності, режимів скидання витрат води через ГЕС. При цьому істотними чинниками, під впливом яких відбувається формування гідрохімічного режиму, є такі:

- природні фонові характеристики якості води;
- морфометричні характеристики водосховища, зокрема глибина спрацювання рівня води та мертвий об'єм;
- водообмін, ступінь проточності;
- скидання господарсько-побутових і виробничих стічних вод у водні об'єкти та на рельєф місцевості;
- процеси утворення та танення льоду;
- процеси біологічного самоочищення водойми;
- температура води;
- зсув фаз гідрохімічного режиму й амплітуди максимумів концентрації домішок;
- режим надходження забруднювальних речовин, зокрема хімічних речовин, з високою сорбційною здатністю, які акумулюються у крижаному покриві, включаючи нафтопродукти (особливо у разі їхнього аварійного надходження на крижаний покрив);
- хімічний склад порід і підземних вод ложа і бортів водосховища.

Ступінь і різновиди впливу об'єктів гідробудівництва на якість води та водні екосистеми у верхньому та нижньому б'єфах у період експлуатації розрізняються.

На гідрохімічний режим водосховища впливають такі чинники:

- фоновий стан якості води водотоку й бічних приток, що надходять у водосховище;
- рівень санітарної підготовки зони затоплення водосховища;
- характеристика затоплюваного ложа (засоленість і типи ґрунтів, склад і обсяги деревної, чагарникової та трав'янистої рослинності, яка потрапляє в зону затоплення, склад підземних вод, наявність торфовищ і боліт тощо);
- рівень антропогенного забруднення в басейні;
- господарське освоєння водосховища;

- система водокористування, що здійснюється об'єктами, які входять до складу гідровузла;
- вторинне забруднення.

Крім загальної мінералізації, важливе значення має оцінка біогенного стоку, оскільки біогенні елементи істотно впливають на продуктивність водних об'єктів. Закономірності формування та режиму органічних речовин у природних водах вивчені слабо.

11.3 Вплив гідротехнічних споруд на інші абіотичні фактори довкілля

Місцеві кліматичні зміни. Створення гідровузлів із водосховищами великого об'єму призводить до зміни термічного режиму води порівнюючи з природними умовами як у верхніх, так і в нижніх б'єфах ГЕС, що призводить до змінювання теплового стоку річки і складових теплового балансу води з сушею, а отже, і значень метеорологічних параметрів і умов туманоутворення.

У регіонах розташування гідровузлів зазвичай відбувається зменшення континентальну клімату, хід температури повітря стає плавнішим.

Температура повітря під впливом водосховища ГЕС здебільшого знижується навесні й у першу половину літа (охладжувальний вплив), підвищується в другу половину літа і восени (утеплювальний вплив). Час настання, тривалість, інтенсивність охолоджувального і утеплювального періодів залежать від географічного положення, розмірів і глибини водосховища.

Напрямок вітру змінюється залежно від орієнтації водосховища, звивистості берегової лінії, особливостей ландшафту, шорсткості підстилаючої поверхні суші та особливостей місцевої циркуляції повітря.

Швидкість вітру над акваторією водосховища майже не змінюється (15–20 %) в охолоджувальний період, в утеплювальний – збільшується на 50–100 %.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення гідротехнічних споруд та наведіть головні споруди, які до них належать.
2. Наведіть головні напрями впливу гідротехнічних споруд на навколишнє середовище.
3. Як гідротехнічні споруди впливають на режим водотоку?
4. Як гідротехнічні споруди впливають на абіотичні фактори довкілля?

ТЕМА 12 ПОНЯТТЯ ПРО ВОДОГОСПОДАРСЬКІ РОЗРАХУНКИ

12.1 Матеріали розрахунку водогосподарського балансу

Водогосподарський баланс є підсумком водогосподарських розрахунків, які виконували під час підготовки водогосподарського обґрунтування схем і проектів, та визначає співвідношення наявних водних ресурсів (обсягів поверхневих і підземних вод, доступних для багаторічного використання гарантованого у разі наявного та проектного складу водогосподарського комплексу) та розрахункового водоспоживання з прогнозованим рівнем розвитку економіки.

Матеріали розрахунку водогосподарського балансу охоплюють таке:

- 1) лінійну розрахункову балансову схему, яка відповідає водогосподарському районуванню території;
- 2) опис особливостей розглянутого водного об'єкта, прийнятих допущень, методичних підходів, обґрунтування використаних комп'ютерних моделей, критерії задоволення вимог для кожного різновиду водокористувачів;
- 3) зміст та описання вихідної інформації для водно-балансових розрахунків;
- 4) характеристику природних водних ресурсів у розрахункових створах, що обмежують водогосподарські ділянки (статистичні параметри, забезпечені обсяги стоку фазово-однорідних сезонів року, динаміка зміни водності за довжиною річки);
- 5) обґрунтування лімітувальних періодів протягом року й оцінку їхньої водності у багаторічному розрізі;
- 6) оцінку однорідності та репрезентативності багаторічних (природних, відновлених чи змодельованих) гідрологічних рядів, що використовуються. Якщо водно-балансові розрахунки проводяться за окремими роками характерної водності, для кожної забезпеченості з багаторічного ряду обирається (або моделюється) найбільш несприятливий варіант внутрішньорічного розподілу стоку;
- 7) розрахункові вимоги на кожній водогосподарській ділянці, зокрема галузеве водоспоживання та водовідведення, спеціальні та комплексні попуски в розрахункових створах із урахуванням зобов'язань за міжнародними угодами, втрати ставків і водосховищ;
- 8) варіантні водогосподарські баланси в прив'язці до створів розрахункової схеми та запланованими рівнями реалізації водогосподарських планів, виражених у рекомендованому комплексі водогосподарських і водоохоронних заходів;
- 9) узагальнені результати водогосподарських балансів загалом по басейну з оцінкою кожного створу за водозабезпеченістю для аналізу водогосподарської ефективності рекомендованих заходів.

Структура стандартного водогосподарського балансу включає прибуткову Π і видаткову B частини, а також результат водогосподарського балансу. Певні складові балансу є відображенням інженерних рішень,

пов'язаних із раціональним водокористуванням, регулюванням стоку та його територіальним перерозподілом. Результат водогосподарського балансу характеризується наявністю резервів ($\Pi \geq B$) або дефіцитів ($\Pi < B$) стоку.

Під час вибору розрахункового інтервалу часу для водогосподарського балансу враховується категорія річки, значуща внутрішньомісячна нерівномірність стоку, наявність регулювальних ємностей, співвідношення об'єму та режиму водоспоживання, а також спеціальних весняних попусків та водного режиму річки. Залежно від цих критеріїв встановлюються місячні, декадні, пентадні або добові розрахункові інтервали.

Розмірність складових водогосподарського балансу приймається у млн м³, а для річок з об'ємом стоку 20–50 млн м³ – у тис. м³. У разі великих обсягів стоку, баланси розраховуються у витратах води в розрахунковому створі, а обсяги стоку за рік приймаються у млн м³ або км³. Переведення витрат води у розрахунковому створі в обсяги стоку проводиться застосуванням перехідних коефіцієнтів, що враховують тривалість розрахункових інтервалів.

Для розрахунків водогосподарського балансу використовується (в одиницях об'єму води за розрахунковий інтервал часу) формула

$$B = W_{\text{вх}} + W_{\text{бок}} + W_{\text{пзв}} + W_{\text{вв}} + W_{\text{дом}} \pm \Delta V \pm \pm W_{\text{л}} - W_{\text{випар}} - W_{\text{ф}} - W_{\text{у}} - W_{\text{пер}} - W_{\text{вдп}} - W_{\text{кп}}, \quad (12.1)$$

де $W_{\text{вх}}$ – об'єм стоку, що надходить за розрахунковий період з розміщених вище ділянок водного об'єкта, що розглядається, млн м³; $W_{\text{бок}}$ – об'єм води, який формується за розрахунковий період на розрахунковій водогосподарській ділянці (бокова приточність); $W_{\text{пзв}}$ – об'єм водозабору з підземних водних об'єктів, який здійснюється за порядком, встановленим законодавством; $W_{\text{вв}}$ – води, які повертаються, (російською «возвратные») на водогосподарській ділянці, а саме: підземні та поверхневі води, які стікають зі зрошувальних територій, стічні та (або) дренажні води, що відводяться у водні об'єкти. Фактично враховується об'єм води, що попадає на розрахункову водогосподарську ділянку з боку діючої системи водовідведення, яка визначає сумарну кількість усіх різновидів стічних вод (зокрема колекторно-дренажних), що скидаються у водойми, підземні горизонти та безстічні пониження, а також тих стічних вод, що подаються на очисні споруди; $W_{\text{дом}}$ – дотаційний об'єм води, що надходить на водогосподарську ділянку з систем територіального перерозподілу стоку (міжбасейнові та внутрішньо-басейнові перекидання); $\pm \Delta V$ – спрацювання або наповнення ставків та водосховищ на розрахунковій водогосподарській ділянці; $\pm W_{\text{л}}$ – втрати води через осідання льоду на береги у разі зимового спрацювання водосховища та/або повернення води внаслідок танення льоду весною; $W_{\text{випар}}$ – втрати на додаткове випаровування з акваторії водойм; $W_{\text{ф}}$ – фільтраційні втрати з водосховищ, каналів, інших поверхневих водних об'єктів у межах розрахункової водогосподарської ділянки; $W_{\text{у}}$ – зменшення річкового стоку, яке спричинене водозабором із підземних водних об'єктів, що мають гідравлічний зв'язок із річкою; $W_{\text{пер}}$ – перекид

частини стоку (об'єму води) за межі розрахункової водогосподарської ділянки; $W_{\text{вдп}}$ – сумарні вимоги всіх водокористувачів цієї розрахункової водогосподарської ділянки; $W_{\text{кп}}$ – необхідна величина стоку в кінцевому створі розрахункової водогосподарської ділянки (транзитний сток або комплексний попуск, у якому складені санітарно-екологічні та господарські попуски); B – результуюча складова (надлишок або дефіцит водних ресурсів) водогосподарської ділянки.

Результати водогосподарського балансу фіксують величину дефіциту водних ресурсів Def , резерв води $W_{\text{рез}}$ та проектний (транзитний) стік $W_{\text{нс}}$ на наступну водогосподарську ділянку.

Якщо $B \geq 0$, то резерв водних ресурсів дорівнює балансу $W_{\text{рез}} = B$, а дефіцит $Def = 0$; якщо $B < 0$, то резерв водних ресурсів дорівнює нулю $W_{\text{рез}} = 0$, а дефіцит $Def = -B$.

Величина спрацювання або наповнення водосховища за розрахунковий інтервал часу ($\pm \Delta V$) визначається під час розрахунку водогосподарського балансу як поправка до розташованих водних ресурсів, що вирівнює прибуткову та видаткову частини балансу.

Наповнення водосховища визначається обсягом сумарного припливу у водосховище за вирахуванням обсягів спеціальних попусків, безповоротного водоспоживання, а також спрацювання водосховища в інтересах водокористувачів нижнього б'єфа, якщо такі є, і визначається за формулою

$$V_{\text{рмо}} \geq V_{\text{поч}} \pm \Delta V = V_{\text{кін}} \leq V_{\text{нпр}}, \quad (12.2)$$

де: $V_{\text{кін}}$ – об'єм водосховища на кінець розрахункового інтервалу; $V_{\text{поч}}$ – об'єм водосховища на початок розрахункового інтервалу; $V_{\text{нпр}}$ – об'єм водосховища при нормальному підпірному рівні; $V_{\text{умо}}$ – об'єм водосховища при рівні мертвого об'єму.

За початок розрахункового інтервалу водогосподарського року приймається момент настання найбільш багатоводного сезону (повені).

Для водосховищ сезонного регулювання початковий об'єм заповнення корисної ємності водосховища зазвичай дорівнює нулю ($V_{\text{поч}} = 0$).

При багаторічному регулюванні стоку наповнення початок першого року розрахункового ряду визначається шляхом декількох ітерацій до збігу обсягів наповнення на початок і кінець розрахункового багаторічного ряду.

Якщо сумарний приплив води у водосховище в період підвищеної водності перевищує обсяг вільної ємності водосховища, здійснюються додаткові попуски води (холості скиди).

Складові водогосподарського балансу зі знаком плюс належать до прибуткової частини балансу, зі знаком мінус – до видаткової. Спрацювання (+) і наповнення (–) водосховища зазвичай відображаються в прибутковій частині балансу. Форму балансової таблиці для водогосподарського балансу водогосподарської ділянки (далі – ВГД) наведено в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1 – ВОДОГОСПОДАРСЬКИЙ БАЛАНС РЕАЛЬНОГО 20____
РОКУ, ЯКИЙ БЛИЗЬКИЙ _____ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ЗА ОБ'ЄМОМ РІЧНОГО
СТОКУ водогосподарської ділянки (підбасейну, річкового басейну)

Складові водогосподарського балансу	Інтервал часу													
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	рік	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Прибуткова частина:														
1. Об'єм стоку, що надходить на розрахункову ВГД з розташованих вище створів (вимірний або розрахований для звітного року), $W_{вх}$														
2. Об'єм стоку, що формується на розрахунковій ВГД (бокова приточність, яка вимірюється або розрахована для звітного року), $W_{бок}$														
3. Фактичний об'єм дотаційного стоку на ВГД, $W_{дот}$														
4. Фактичний об'єм водозабору підземних вод із зазначенням типу вилучення (підрусловий, артезіанський тощо) за даними 2-ТП-водгосп про відбори свіжої води, $W_{пзв}$														
5. Об'єм вод, що повертаються на розрахункову ВГД (за даними форм 2-ТП (водгосп) про скиди у водний об'єкт за звітний рік), $W_{ев}$														
6. Спрацювання (+); наповнення (-) ставків та водосховищ, $\pm \Delta V$														

млн м³

Продовження таблиці 12.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Усього за прибутковою частиною:													
Витратна частина:													
7. Втрати на додаткове випаровування та льодоутворення з поверхні водосховищ за розрахунковими гідрометеорологічними даними за звітний період, $W_{исп}, W_{л}$													
8. Фільтраційні втрати з водосховищ, які визначені за рівнянням водного балансу, складеного за даними вимірювання витрат у нижньому б'єфі та рівнями води у водосховищі, $W_{ф}$													
9. Зменшення річкового стоку, яке спричинене відбором підземних вод (оцінюється на підставі строки 4 ВГБ), $W_{у}$													
10. Фактичний об'єм перекидання частини стоку за межі розрахункової ВГД, $W_{пер}$													
11. Вимоги водокористувачів на розрахунковій ВГД (за даними форм 2-ТП-водгосп про вилучення свіжої води поверхневими водозаборами за звітний рік), $W_{вдн}$, усього:													
зокрема:													
питне та господарсько-побутове водопостачання:													

Продовження таблиці 12.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
виробниче (промислове) водопостачання													
сільськогосподарське водопостачання													
зрошення сільськогосподарських земель													
інші водокористувачі													
12. Здійснені галузеві та санітарно-екологічні попуски за звітний рік, усього (комплексний попуск), $W_{\text{кп}}$:													
зокрема:													
– екологічні попуски													
– санітарні попуски													
– господарські попуски													
Усього за витратною частиною, $W_{\text{рт}}$													
Результати балансу, В:													
13. Дефіцит звітнього ВГБ (–), Def													
Резерв води за звітний рік (+), $W_{\text{рез}}$													
14. Транзит стоку на нижче розташовані ВГД, $W_{\text{нс}}$:													
Розрахунковий													
Вимірний (за наявності гідрометричного посту)													
Похибка ВГБ													

Для розрахунку проектного (транзитного) стоку у створі, який замикає водогосподарську ділянку, використовується формула

$$W_{\text{нс}} = W_{\text{кп}} - Def_{\text{кп}} + W_{\text{рез}}, \quad (12.3)$$

де $Def_{\text{кп}}$ – дефіцит комплексного попуску за розрахунковий часовий інтервал.

Ресурсна складова водогосподарського балансу включає поверхневий стік, підземні води.

Об'єм підземних вод визначається як частина експлуатаційних запасів, використання (відбір) яких можливі відповідно до законодавства про надра. У розрахунках водогосподарського балансу на перспективу враховуються прогнозні ресурси підземних вод, що оцінюються на підставі регіональних гідрогеологічних досліджень, узагальнення та інтерпретації наявних матеріалів. Під час розрахування водогосподарського балансу в обсязі ($W_{пзв}$) враховується сумарний обсяг забору підземних вод для цілей господарсько-побутового водопостачання, а також інших цілей відповідно до водного законодавства про надра.

Дані про експлуатаційні запаси підземних вод містяться в державному водному реєстрі, даних державного моніторингу стану надр Державного агентства з надрокористування. Відомості про величину фактичного відбору підземних вод можуть бути отримані шляхом обробки даних державної статистичної звітності.

Багатофакторна оцінка ресурсів підземних вод включає таке:

- 1) оцінку затверджених експлуатаційних запасів підземних вод;
- 2) оцінку частини затверджених експлуатаційних запасів підземних вод, які пов'язані з поверхневими водними об'єктами;
- 3) оцінку поповнення підземних вод, не пов'язаних з поверхневими водними об'єктами, яка передбачає таке:

– картографічне відображення територій, на яких може відбуватися поглинання поверхневого стоку у депресійні лійки артезіанських водоносних горизонтів;

– визначення тривалості періоду від початку експлуатації водозабору до початку компенсаційного поглинання поверхневого стоку в зонах живлення артезіанських водоносних горизонтів.

Розрахункові потреби на водогосподарській ділянці формуються у відповідно до набору складових видаткової частини водогосподарського балансу. Головну функціональну частину потреб формують галузеві споживачі.

Розрахункові потреби до водних ресурсів поділяються на безповоротне водоспоживання (різниця між обсягами водоспоживання $W_{вон}$ і зворотних вод $W_{вз}$) на ділянці та господарські попуски, що здійснюються в інтересах водокористувачів в нижньому б'єфі гідровузла, а також із метою обводнення заплави річки. Потреби, що покриваються господарськими попусками, включаються у відповідну графу видаткової частини водогосподарського балансу ($W_{кп}$).

Для аналізу сучасного стану водогосподарського комплексу використовуються матеріали державної статистичної звітності. Планові та перспективні водогосподарські баланси розраховуються на підставі прогнозних оцінок розвитку промислового та сільськогосподарського виробництва, а також міст та інших населених пунктів у межах водогосподарської ділянки.

Сумарний обсяг водоспоживання на водогосподарській ділянці визначається як формальна сума приватних потреб у воді за вирахуванням зворотних вод за формулою

$$W_{\text{вдн}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5, \quad (12.4)$$

де W_1 – об'єми водоспоживання міст та інших населених пунктів (для питного та господарсько-побутового водопостачання); W_2 – об'єми водоспоживання промислових підприємств; W_3 – об'єми водоспоживання для сільськогосподарського водопостачання; W_4 – об'єми водоспоживання для зрошення сільськогосподарських земель; W_5 – об'єми водоспоживання інших водокористувачів.

Обсяги W_1 визначаються, згідно з встановленими нормами водоспоживання в розрахунку на одного міського жителя і чисельності населення.

Водоспоживання промислових підприємств W_2 визначається за пропозиціями певних підприємств або залежно від питомих витрат води на виробництво одиниці продукції, заснованих на прогнозі розвитку певних виробництв (обсягів та різновидів продукції).

Потреби сільськогосподарського водопостачання W_3 визначаються відповідно до встановлених норм витрат води споживачів систем сільськогосподарського водопостачання.

Обсяги водоспоживання для зрошення сільськогосподарських земель W_4 встановлюються відповідно до встановлених поливних і зрошувальних норм для певних природно-кліматичних умов і структурою сівозміни.

Під час розрахунку водогосподарського балансу приймається постійне водоспоживання в багаторічному розрізі, у разі високої мінливості шару опадів і випаровування нерівномірність водоспоживання враховується застосуванням коефіцієнтів перерахунку розрахункових зрошувальних норм.

Потреби у воді інших водокористувачів W_5 встановлюються на підставі встановлених фактичних обсягів допустимого забору (вилучення) водних ресурсів або прогнозних матеріалів.

За наявності руслових водосховищ на водогосподарській ділянці в балансі враховуються втрати на додаткове випаровування за формулою

$$W_{\text{двс}} = h_{\text{двс}} \cdot F_{\text{ср}}, \quad (12.5)$$

де $F_{\text{ср}}$ – середня площа дзеркала водосховища за розрахунковий інтервал часу за вирахуванням площі водної поверхні до створення водосховища. Якщо площа, що віднімається, невелика порівнюючи з площею водного дзеркала водосховища, то вона анулюється; $h_{\text{двс}}$ – шар додаткового випаровування у розрахунковому інтервалі (м), розраховується за формулою

$$h_{\text{двс}} = h_{\text{в}} - (h_{\text{ос}} - h_{\text{см}}), \quad (12.6)$$

$h_{\text{в}}$ – шар випаровування з водної поверхні, визначається відповідно до додатку [1]; $h_{\text{ос}}$ – шар опадів на водну поверхню, визначається відповідно до додатку [1]; $h_{\text{см}}$ – шар стоку на тій самій площі до створення водосховища.

Якщо стік із зазначеної площі незначний, то втрати на додаткове випаровування фактично перетворюються на шар видимого випаровування (різниця між випаровуванням і опадами).

Для наливного водосховища обсяг втрат розраховується як добуток шару видимого випаровування на середню в розрахунковому інтервалі площу водного дзеркала водосховища за формулою

$$W_{\text{вип}} = (h_{\text{с}} - h_{\text{ос}}) \cdot F_{\text{ср}}. \quad (12.7)$$

Зазвичай обсяги втрат на випаровування та льодоутворення визначаються стосовно до середньобогаторічних кліматичних умов району з урахуванням помісячних годографів шару опадів, випаровування і товщини льоду.

Фільтраційні втрати води з водосховищ ($W_{\text{ф}}$, млн м³) складаються з фільтрації через тіло греблі, її основу і в обхід греблі, а також через дно і береги водосховища та розраховуються за формулою

$$W_{\text{ф}} = W_{\text{фплот}} + W_{\text{фбер}}, \quad (12.8)$$

де $W_{\text{фплот}}$ – фільтрація через тіло та основу греблі; $W_{\text{фбер}}$ – фільтрація через дно та береги водосховища.

Втрати на фільтрацію через тіло, основу та в обхід греблі визначаються на підставі розрахунків фільтрації через тіло греблі та її основу під час проектування або за даними натурних спостережень за греблею.

За відсутністю проектної документації та достовірних натурних досліджень на гідровузлах із греблями, об'єм фільтрації через тіло й основу ґрунтової греблі може бути визначено за допомогою схеми, наведеної на рисунку 12.1 та формулою

$$W_{\text{фплот}} = k_{\text{ф}} \cdot \frac{H_1^2 + H_2^2}{2 \cdot (l_{\text{ур}} + 0,4H_1)} \cdot L_{\text{плот}} \cdot t, \quad (12.9)$$

де H_1 – відстань між рівнем води у верхньому б'єфі та водоупором, м; H_2 – відстань між рівнем води у нижньому б'єфі та водоупором, м; $l_{\text{ур}}$ – відстань між лініями урізу води у верхньому та нижньому б'єфах, м; $k_{\text{ф}}$ – коефіцієнт фільтрації ґрунту та основи греблі, м/с; $L_{\text{плот}}$ – довжина греблі, м; t – період часу, за який розраховується фільтрація, сек.

Під час розрахування фільтраційних втрат води з водосховища враховується термін його експлуатації, а саме: найзначніша фільтрація через дно та береги водосховища спостерігається в перші роки його експлуатації, через 4–5 років (на великих водосховищах через 7–10 років) фільтрація може знизитися від її початкового значення в 2–3 рази й більше.

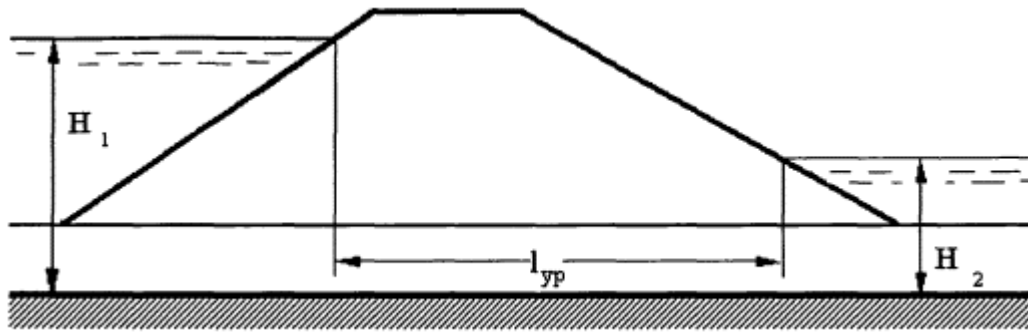


Рисунок 12.1 – Схема для розрахунку фільтрації через тіло й основу ґрунтової греблі

Сумарні фільтраційні втрати приймаються змінними протягом року залежно від поточного наповнення водосховища та напору, що визначає інтенсивність фільтрації.

Співвідношення витрат поворотної та безповоротної фільтрації встановлюється з урахуванням гідрогеологічних умов певного об'єкта.

Втрати води внаслідок осідання льоду на береги під час зимового спрацювання водосховища ($W_{\text{л}}$) розраховуються за формулою

$$W_{\text{л}} = \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{л}}} \cdot h_{\text{л}} \cdot (F_{\text{н}} - F_{\text{к}}), \quad (12.10)$$

де $\frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{л}}}$ – співвідношення щільності води та льоду, зазвичай дорівнюють одиниці; $h_{\text{л}}$ – середня товщина льоду за розрахунковий інтервал; $F_{\text{н}}$ та $F_{\text{к}}$ – площа дзеркала водосховища відповідно на початку й наприкінці розрахункового інтервалу часу.

Товщина льоду задається для кожного інтервалу всіх років розрахункового ряду. За відсутності зимового спрацювання водосховища втрати води на льодоутворення не враховуються. Інтенсивність повернення льоду приймається в розрахунках рівномірною.

Зменшення річкового стоку, спричинене відбором підземних вод ($W_{\text{в}}$) із горизонтів, гідравлічно пов'язаних із річковим стоком, визначається на підставі оцінки впливу підземних вод на річковий стік, яка проводиться під час планування водогосподарських заходів. При цьому допускається приймати, що відбір підземних вод із горизонтів, розташованих нижче місцевого базису ерозії або на значній відстані від річкової мережі, не позначається на річковому стоці ($\chi = 0$); відбір води з алювіальних відкладень річкових долин повністю відноситься до річкового стоку ($\chi = 1$).

В інших випадках для розрахунку може бути використана така формула:

$$W_{\text{в}} = \chi \cdot W_{\text{св}}, \quad (12.11)$$

де W_{CB} – об’єм підземних вод, що відбираються та гідравлічно пов’язані з річковим стоком; χ – коефіцієнт, що характеризує ступінь гідравлічного взаємозв’язку поверхневих і підземних вод, який визначається у процесі певних гідрогеологічних та гідрологічних вишукувань.

Варто враховувати прогноз гідравлічного зв’язку поверхневих і підземних вод у проектній перспективі на 15–20 років, оскільки інтенсивне спрацювання підземних горизонтів з утворенням глибокої воронки депресії може змінити гідравлічний режим взаємодії підземних вод із поверхневим стоком.

Критерієм задовільності потреб водокористувачів є розрахункова забезпеченість за числом безперебійних років ($P_{чбр}$), що розраховується у процентах за такою формулою:

$$P_{чбр} = \frac{N - m}{N + 1} \cdot 100, \quad (12.12)$$

де N – тривалість багаторічного розрахункового ряду, який приймається за прототип майбутнього водного режиму, у роках; m – число перебійних років.

Забезпеченість за кількістю безперебійних років указує на ймовірність того, що потреби у воді з боку водокористувачів будуть витримані в повному обсязі в $P_{чбр}$ років зі 100.

Для водного транспорту доцільно використовувати показник забезпеченості за сумою безперебійних місяців (декад) багаторічного розрахункового періоду, що дає змогу оцінити відносну тривалість безперебійних інтервалів часу. Забезпеченість за тривалістю безперебійних інтервалів часу визначається такою формулою:

$$P_{np} = \frac{M}{N \cdot n} \cdot 100, \quad (12.13)$$

де M – сумарна тривалість безперебійних періодів часу в розрахунковому ряду; n – сумарна тривалість розглянутих періодів в році. Це набагато менш жорсткий критерій, ніж за числом безперебійних років ($P_{np} > P_{чбр}$).

Залежно від точності та повноти вихідних даних, надійність розрахунку водогосподарського балансу може бути різною. Оцінка надійності вихідних даних, що використовуються при визначенні параметрів, які становлять водогосподарський баланс, виконується шляхом порівняння значень розрахованого та виміряного обсягів води, які пройшли через замикальний створ водогосподарської ділянки за розрахунковий період часу t за такою формулою:

$$\left| \frac{W_{зам}^{вим} - W_{зам}^{розн}}{W_{зам}^{вим}} \right| \cdot 100 = \varepsilon, \quad (12.14)$$

де $W_{зам}^{вим}$ – об’єм води у замикальному створі, що виміряний за минулий період часу t , $м^3$; $W_{зам}^{розн}$ – об’єм води у замикальному створі, який розрахований за рівнянням водогосподарського балансу за минулий період часу t , $м^3$; ε – відносна похибка розрахунку водогосподарського балансу, допустиме значення епсілон залежить від достовірності матеріалів, що використовуються, та визначається замовником залежно від поставлених завдань.

Точніший аналіз надійності вихідних даних, що використовуються під час визначення параметрів, які становлять водогосподарський баланс, виконується за такою формулою:

$$|W_{зам}^{вим} - W_{зам}^{вирах}| = 2\sigma_{\Sigma}, \quad (12.15)$$

де $W_{зам}^{вим}$ – об’єм води у замикальному створі, який виміряно за період часу t , що минув, $м^3$; $W_{зам}^{вирах}$ – об’єм води у замикальному створі, який розраховано за рівнянням водогосподарського балансу за період часу t , що минув, дорівнює величині $W_{нс}$, $м^3$; σ_{Σ} – сукупність середньої квадратичної похибки розрахунків та вимірювань, що розраховується за такою формулою:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{вим}^2 + \sigma_{розн}^2}, \quad (12.16)$$

при цьому $\sigma_{розн}$ розраховується за формулою

$$\sigma_{розн} = \frac{\sqrt{(\sigma_{вх} \cdot W_{вх})^2 + (\sigma_{бок} \cdot W_{бок})^2 + (\sigma_1 \cdot W_1)^2 + (\sigma_2 \cdot W_2)^2 + \dots + (\sigma_n \cdot W_n)^2}}{\sigma_{зам}^{розн}}, \quad (12.17)$$

де $\sigma_{вим}$ – середня квадратична похибка виміряного значення; $\sigma_{розн}$ – середня квадратична похибка розрахованого значення; σ_n – середня квадратична похибка визначення n -го параметру, що становить водогосподарський баланс і залежить від методу її вимірювання та розрахування.

Орієнтовні значення точності визначення компонентів, що становлять прибуткову та видаткову частини водогосподарського балансу, наведено в [1].

12.2 Послідовність складання водогосподарського балансу для річкового басейну

Водогосподарський баланс річкового басейну рекомендується складати, починаючи з першої від витoku річки водогосподарської ділянки або від створу на лінії державного кордону України (для транскордонних водних об’єктів). Далі водно-балансові розрахунки виконуються для інших

водогосподарських ділянок із головною течією річки річкового басейну (від витoku до гирла), зокрема водогосподарські ділянки підбасейнів річки.

На кожній водогосподарській ділянці визначається обсяг та режим безповоротного водоспоживання, який у сумі з комплексним попуском (транзитним стоком) зіставляється з обсягом і режимом наявних водних ресурсів у замикальному створі. Унаслідок балансу визначається проектний приплив до водогосподарської ділянки, що розташована нижче. У разі незведеного балансу (дефіцит водних ресурсів), проектний приплив до розташованої нижче водогосподарської ділянки визначається після розподілу дефіциту між споживачами та комплексним попуском.

Ресурси розташованої нижче водогосподарської ділянки визначаються підсумовуванням проектного припливу зверху зі стоком, що формується на цій водогосподарській ділянці. За необхідністю (значні відстані, істотний вплив руслового і заплавного регулювання) водні ресурси ділянки розраховуються з огляду на трансформації руслового стоку та фактору часу.

Стік, що формується на ділянці (бічна приточність), визначається як різниця обсягів природного стоку в замикальному і вхідному створах у прийнятих інтервалах часу.

За результатами водогосподарських балансів для кожного створу встановлюються дефіцитні водогосподарські ділянки, а також резерв водних ресурсів, починаючи з сучасного рівня водоспоживання до проектної перспективи, зазвичай з інтервалом у п'ять років. Дефіцитними вважаються водогосподарські ділянки, на яких потреби водокористувачів не задовольняються відповідно до критеріїв. Розрахунковий фон створюється характерними балансами водності за роками для всіх розглянутих рівнів розвитку за сучасного складу інженерно-технічних та природоохоронних заходів.

Водозабезпеченість різних водогосподарських ділянок характеризується різними календарними роками розрахункового гідрологічного ряду. Характеристикою водозабезпеченості є оцінка за всім розрахунковим багаторічним рядом у вигляді поєднаних кривих забезпеченості природного стоку, наявних водних ресурсів та обсягів водоспоживання (рис. 12.2), що дає змогу аналізувати ситуацію в гостромаловодних ($P \geq 95 \%$), маловодних ($P \geq 80-90 \%$), середньомаловодних ($P \geq 75-80 \%$), середніх і багатоводних умовах, за всією кривою забезпеченості.

Для сучасного стану водогосподарського комплексу виконуються планові баланси, коли водоспоживання розраховується на підставі діючих нормативів, а також проводиться аналіз використання водних ресурсів на підставі звітних водогосподарських балансів, які характеризують водогосподарську обстановку за даними статистичної звітності.

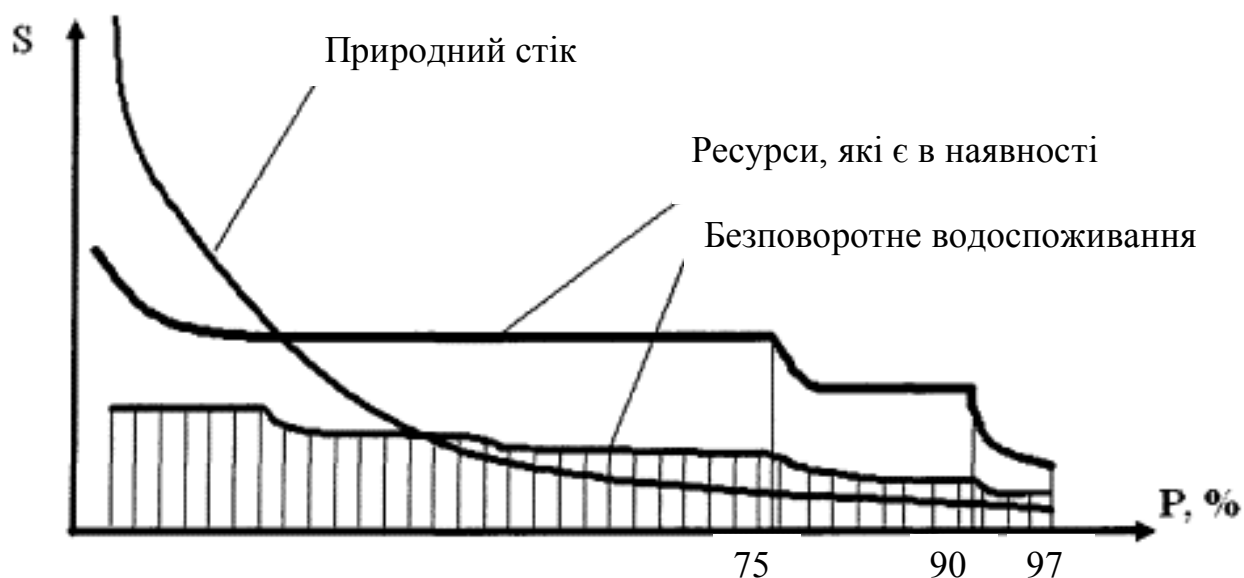


Рисунок 12.2 – Суміщені криві забезпеченості природного стоку, наявних водних ресурсів та безповоротного водоспоживання

Для дефіцитних водогосподарських ділянок розглядаються різні варіанти підвищення водозабезпеченості учасників водогосподарського комплексу шляхом реалізації комплексних заходів раціонального водокористування (оборотні та комбіновані системи промислового водопостачання, впровадження маловодних та безводних технологій, повторне використання міських та тваринницьких стоків, скорочення обсягів галузевого водоспоживання, або комплексних попусків та інші заходи щодо економії водних ресурсів та поліпшення якості води в водоприймальниках стічних вод), створення додаткових регулювальних ємностей сезонного та багаторічного регулювання, будівництва або розвитку систем територіального перерозподілу стоку (внутрішньобасейнові та міжбасейнові перекидання).

Термінові заходи мають бути спрямовані на задоволення потреб пріоритетних споживачів (питне і господарсько-побутове водопостачання, об'єкти промисловості та енергетики, особливо пов'язані з обороноздатністю і безпекою держави).

Розрахунок водогосподарського балансу вважається завершеним, якщо для кожного розрахункового рівня збалансовані потреби водокористувачів, а водогосподарські баланси всіх водогосподарських ділянок ув'язані з урахуванням критеріїв задоволення потреб учасників водогосподарського комплексу через рекомендований склад водогосподарських і водоохоронних заходів.

Підсумки водогосподарських балансів для всіх розглянутих водогосподарських ділянок, підбасейну річки, що впадає в головну річку річкового басейну та загалом за відповідним річковим басейном наводяться в табличній формі у прив'язці до розрахункових рівнів (сценаріїв розвитку водоспоживання) та варіантів рекомендованих водогосподарських заходів.

Форма узагальнюючої таблиці приймається з урахуванням особливостей певного об'єкта.

Питання для самоконтролю

1. Які матеріали необхідні для проведення розрахунку водогосподарського балансу?
2. Яка формула використовується для розрахунків водогосподарського балансу ?
3. Які складові водогосподарського балансу ви знаєте? Наведіть форму балансової таблиці для водогосподарського балансу водогосподарської ділянки (далі – ВГД).
4. Що включає в себе багатофакторна оцінка ресурсів підземних вод?
5. Наведіть схему для розрахування фільтрації через тіло й основу ґрунтової греблі, дайте пояснення до неї.
6. Наведіть послідовність складання водогосподарського балансу для річкового басейну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.4 – Х : 2012. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик / Розробник : Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК) Мінрегіону України. – Київ, 2012. – 102 с.
2. РСН 76–90. Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://meganorm.ru/Data2/1/4294854/4294854912.htm>
3. Будз О. П. Гідрологія : Інтерактивний комплекс навчального забезпечення / О. П. Будз. – Рівне : НУВГП, 2008. – 168 с.
4. Гавриленко Т. В. Инженерная гидрология. Определение расчетных гидрологических характеристик : учебно-методическое пособие / Т. В. Гавриленко, Ю. Е. Гавриш. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. – 29 с.
5. Быков В. Д. Гидрометрия / В. Д. Быков, А. В. Васильев. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 448 с.
6. Літовченко О. Ф. Гідрологія і гідрометрія / О. Ф. Літовченко, В. Г. Сорокін. – Київ : Вища школа, 1985. – 240 с.
7. Літовченко О. Ф. Інженерна гідрологія та регулювання стоку / О. Ф. Літовченко. – Київ : Вища школа, 1999. – 360 с.
8. Сливка П. Д. Гідрологія та регулювання стоку / П. Д. Сливка, Я. О. Новосад, О. П. Будз. – Рівне : УДУВГП, 2003. – 286 с.
9. Яцик А. В. Водогосподарська екологія : у 4 т., 7 кн. / А. В. Яцик. – Київ : Генеза, 2003. – Т 1, кн. 1–2. – 400 с.; Т 2, кн. 3–4. – 384 с.

Навчальне видання

ШЕВЧЕНКО Тамара Олександрівна,
ЯКОВЕНКО Микола Михайлович

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«ІНЖЕНЕРНА ГІДРОЛОГІЯ»

*(для студентів 2 курсу денної та заочної форм навчання за спеціальністю
192 – Будівництво та цивільна інженерія
(спеціалізацією «Гідротехніка (Водні ресурси)»)*

Відповідальний за випуск *К. Б. Сорокіна*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерне верстання *Т. О. Шевченко*

План 2016, поз. 77 Л

Підп. до друку 3.07.2017
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60×84/16
Ум. друк. арк. 8,0
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.