

Юрим М.Ф., Сибірний А.В.

ГІДРОЛОГІЯ

Навчальний посібник

151702



Юрим М.Ф., Гідрологія

26.22
1071

Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій
та у справах захисту населення від наслідків
Чорнобильської катастрофи

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Юрим М.Ф., Сибірний А.В.

151702

ГІДРОЛОГІЯ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



Львів – 2009

УДК 556 (076.1)

ББК 26.22

Ю 71

Юрим М.Ф., Сибірний А.В. Гідрологія. Навчальний посібник. – Львів: ЛДУ БЖД, 2009. – 172 с.

Рецензенти: *Рогов М.М. – доктор технічних наук, професор, (Європейський університет, Рівненська філія); Желях В.І. – кандидат технічних наук, доцент (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності).*

У навчальному посібнику висвітлені сучасні уявлення про гідрологію і гідрометрію. Наведено приклади практичного розрахунку основних параметрів водних об'єктів, процесів замулювання водних об'єктів дощами і зваженими наносами.

Наведено контрольні завдання до кожної розглянутої теми дисципліни „Гідрологія“, що дає можливість використати їх для проведення модульних контролів, контрольних робіт і заліків.

Навчальний посібник призначений для курсантів і студентів екологічних спеціальностей, проте може бути використаний курсантами і студентами інших спеціальностей для виконання курсових та дипломних робіт

Рекомендовано вченою радою Львівського державного університету безпеки життєдіяльності МНС України (Протокол № 5 від 26 грудня 2008 року).

© Юрим М.Ф., 2009
© Сибірний А.В., 2009
© ЛДУ БЖД, 2009

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ АСПЕКТИ ГІДРОЛГІЇ

1.1. Вода та гідросфера. Предмет і завдання гідрології

Вода – основна складова частина навколишнього середовища і всіх живих організмів, яка забезпечує обмін речовин і розвиток цих організмів. Близько $\frac{2}{3}$ маси всього живого на Землі становить вода. Колообіг води на земній кулі – це безперервний процес руху та обміну водою між складовими біосфери. З давніх часів на нашій планеті відбувається безперервний колообіг води: океан → атмосфера → опади → океан.

З поверхні океанів за рік випаровується $4,07 \cdot 10^{17}$ кг води, або шар води завтовшки 1127 мм. З поверхні континентів, де вода випаровується з річок, озер, боліт, зволжених ґрунтів і транспірується рослинами, до атмосфери надходить $0,66 \cdot 10^{17}$ кг води, що відповідає шару води завтовшки 446 мм. Підраховано, що в атмосфері постійно знаходиться в середньому $1,24 \cdot 10^{16}$ кг вологи. Якщо цю кількість вологи перетворити на воду і помістити на земну поверхню, то утвориться шар води завтовшки 24 мм. Однак у середньому за рік випадає 928 мм опадів. Отже, таким чином, водяна пара в атмосфері поновлюється в середньому 39 разів на рік, або кожні 9,5 діб. Основна маса води, що випарувалася з океанів, (приблизно $3,69 \cdot 10^{17}$ кг) випадає на поверхню Світового океану, так і не досягнувши континентів, утворюючи, так званій, малий колообіг води, а решта, ще досить значна кількість, що становить $0,38 \cdot 10^{17}$ кг, потрапляє на материки і вступає в колообіг води на суші, де відбувається неодноразове випадання опадів та їх випаровування, тобто виникають місцеві (малі) колообіги.

Загальна маса опадів на суші становить $1,04 \cdot 10^{17}$ кг, що майже в 4 рази менше, ніж на океанах. Отже, на суші маса опадів перевищує масу води, що випаровується, на $0,38 \cdot 10^{17}$ кг. Цей надлишок води стікає в річки, і далі – в

океани, замикаючи глобальний колообіг води на Землі. Принципова схема великого й малих колообігів води на Землі наведена на рис. 1. Вода – найпоширеніша речовина як у космосі, так і на Землі. Крижані шапки на полюсах Марса, повністю покриті кригою супутники Юпітера, Сатурна та інших планет – усе це свідчить про те, що до складу первинної речовини нашої планети повинні були входити молекули, а можливо, й досить великі крижані об'єкти і, звичайно, водоутворюючі компоненти – водень і кисень.



Рис. 1. Схема великого і малих колообігів води на Землі.

За зовнішнім виглядом Земля – це, швидше, планета води, а не суші, оскільки її поверхня переважно зайнята

водою. У табл. 1 наведені дані про площу, яку займає вода та її складові на поверхні Землі.

Таблиця 1

Площі, які займає вода на поверхні Землі
(в млн. км² та в % від загальної площі поверхні Землі)

	Складові площі водної поверхні					Загальна площа водної поверхні
	Океани та моря	Льодовики	Озера та ріки	Болота	Сніговий покрив	
Площа в млн. км ²	361,2	16,3	2,3	3,0	≈60,2	≈443
% від площі Землі	71	3,2	0,45	0,58	≈11,7	≈86,9

Із табл. 1 видно, що, вилучаючи площу, яку займає сніговий покрив (вона може змінюватися з року в рік), поверхня нашої планети більше, ніж на $\frac{3}{4}$ зайнята водами морів, океанів, озер, рік, боліт і льодовиків. Однак вода існує скрізь, вона буквально пронизує всі оболонки Землі: в атмосфері присутня у вигляді пари та скупчень хмар, у земній корі – в тріщинах і порах. Вона наповнює рослини і тваринні організми, проникає в будь-які ділянки того простору, де існує людина і все живе. Усі водні об'єкти на поверхні Землі так чи інакше зв'язані між собою й утворюють оболонку, що називається гідросферою. За сучасними приблизними оцінками маса води у гідросфері становить близько $14965 \cdot 10^{17}$ тонн, що відповідало б шару води, рівномірно розподіленому по всій поверхні Землі, завтовшки 3260 м. У табл. 2 наведені дані приблизної оцінки запасів води зв складовими гідросфери.

Таблиця 2

Запаси маси води за складовими гідросфери Землі

Складові гідросфери Землі	Маса води, 10^{17} тон
Світовий океан	13700
Підземні води	1000
Сніг та крига	260
Озера	2,8
Річки	0,012
Болота	1
Грунтова волога	1
Атмосферна волога	0,014

Вода, яка нас оточує, – це речовина з унікальними властивостями, не повністю відомими та поясненими. Аналіз звичайної води показує, що насправді – це суміш кількох різновидів води із загальною формулою H_2O , які являють собою з'єднання ізоотопів кисню та водню. Крім звичайного водню (H^1), є й водень із масою 2 (H^2), який називають дейтерій (D), і ще більш важкий водень із масою 3 (H^3) – тритій (T). У кисню виявлені, крім звичайного, із атомною вагою 16 (O^{16}), ще два, більш важких ізоотопи: із атомною вагою 17 (O^{17}) та 18 (O^{18}). Теоретично може існувати 42 різні ізоотопні різновиди води, із яких лише 7 стійкі, тобто нерадіоактивні. Саме їх суміш і утворює реальну гідросферу. При цьому, 99,73 % гідросфери становить звичайна вода із молекулярним складом $H^1_2O^{16}$; 0,04 % – важкокиснева вода із складовими $H^1_2O^{17}$; 0,02 % – зі складом $H^1_2O^{18}$, а також важка вода зі складом DO_2 . Кількість важкої води у суміші різних ізоотопних різновидів реальної води незначна: на 1 літр природної води припадає 0,15 мл DO_2 .

Різниця в ізоотопному складі впливає на фізичні властивості води. Наприклад, важка вола має густину $1,104 \text{ г/см}^3$, кипить при температурі $101,43^\circ\text{C}$, а лід із важкої

води топиться при температурі $3,813^\circ\text{C}$, вона випаровується повільніше, ніж звичайна вода. Однак у загальній масі природної води вплив ізоотопних різновидів на її фізичні властивості невідчутний.

Цікаво відзначити, що в природі немає води, яка б відповідала закономірностям, які властиві ряду сполук водню, що мають подібну молекулярну структуру. Так, найлегша із цього ряду сполук вода повинна була б замерзати при -90°C , а вона замерзає при 0°C , кипіти – при -70°C , а вона кипить при 100°C .

Відомо, що всі рідини при твердненні утворюють речовину завжди більшої густини, ніж густина первинної рідини. Вода, зменшуючись в об'ємі при охолодженні та збільшуючи при цьому густину, спочатку поводить себе, як і всі інші рідини, але досягнувши найбільшої густини при температурі $+4^\circ\text{C}$, при подальшому зниженні температури починає розширюватись, і особливо (майже на 11%) збільшує свій об'єм при перетворенні в лід. У результаті такого процесу густина води при температурах, нижчих ніж 4°C , і, особливо, льоду, виявляється меншою: лід плаває по поверхні води. Характер зміни густини води створює умови для розшарування (стратифікації) води за густиною під льодом у такий спосіб, що взимку в прісних водоймах зі збільшенням глибини вода стає теплішою: її температура від нижньої межі льоду до дна збільшується від 0°C до $+4^\circ\text{C}$. Описаний природний феномен сприяє збереженню життєдіяльності тваринного і рослинного світу водойм.

Детальне вивчення фізико-хімічних властивостей води показало, що в природі вода як речовина із ряду сполук водню має особливі властивості і не відповідає законам, яким підпорядковуються всі речовини такого ряду. Коротко аномальні властивості води (у різних фазових станах) можна сформулювати так.

1. Вода має найбільшу густину, що дорівнює 1000 кг/м^3 , при температурі $+4^\circ\text{C}$. При зміні температури в той чи

інший бік від 4°C густина води зменшується. Важливо відмітити, що при замерзанні густина води зменшується стрибкоподібно і при 0°C густина льоду становить 910 кг/м^3 .

2. Теплоємність речовин при твердненні змінюється несуттєво. Вода ж має зовсім інші властивості: так, якщо не враховувати незначну температурну зміну води, то її теплоємність становить: $C_{\text{в}}=4186,8\text{ Дж/(кг К)} = 1\text{ кал/(г К)}$, однак питома теплоємність льоду становить: $C_{\text{л}}=2114\text{ Дж/(кг К)}=0,505\text{ кал/(г К)}$, або майже половину питомої теплоємності води. Щодо питомих теплоємностей водяної пари, то вони практично не залежать від температури й дещо менші ніж питома теплоємність льоду. Наприклад, питома теплоємність водяної пари при постійному об'ємі дорівнює $C_{\text{вп}}=2114\text{ Дж/(кг К)}$, а при незмінному тиску – $C_{\text{пр}} = 1846\text{ Дж/(кг К)}$.

3. Як відзначалося раніше, температури замерзання та кипіння води значно вищі, ніж у інших, близьких їй, хімічних сполук.

4. Питома теплота пароутворення (конденсації) залежить від температури й обчислюється за формулою:

$$L_x = L_0 - 0,65 t$$

де $L_0=2500\text{ кДж/кг}$; t – температура, $^{\circ}\text{C}$

У випадку сублимації, тобто, при безпосередньому переході водяної пари у лід, питома теплота сублимації залежить від температури й обчислюється за формулою:

$$L_x = L_{\text{св}} - 0,36 t,$$

де $L_{\text{св}}=2837\text{ кДж/кг}$

Теплота плавлення льоду може бути визначена:

$$L_{\text{пл}} = L_{\text{с}} - L_{\text{л}}$$

При температурі 0°C вона дорівнює:

$$L_{\text{пл}} = 2834 - 2500 = 334\text{ кДж/кг}$$

5. Вода має високу розчинну здатність та хімічну активність. Це – найсильніший природний розчинник, бо молекули води мають високий дипольний момент, а це забезпечує унікально велику діелектричну сталу води, найвищу серед усіх рідин. Тому будь-які заряди у воді відштовхуються або притягуються з силою, у 80 разів більшою, ніж у вакуумі. Через те молекули води «розтягують» частинки або йони речовин, забезпечуючи високу розчинність речовин у воді. Саме тому виникає висока здатність води до змочування.

6. Поверхневий натяг води вищий ніж у інших відомих рідин, і при температурі 20°C становить $0,074\text{ Вт/(м·К)}$.

Основним двигуном колообігу, джерелом його енергії є Сонце та сила тяжіння.

Гідрологія – це наука, що вивчає гідросферу, її властивості, процеси і явища, які відбуваються в ній у взаємозв'язку з атмосферою і літосферою. Води Землі з твердими, рідкими та газоподібними речовинами, що містяться в них, називаються природними водами. Вони складаються з вод океанів і водних об'єктів суші, які, в свою чергу складаються з поверхневих вод.

Розділ гідрології, який вивчає поверхневі води, називається *гідрологією суші, або континентальною гідрологією*.

Розділ гідрології, що вивчає води морів і океанів називається *океанологією*.

Гідрологія ґрунтових (підземних) вод називається гідрогеологією.

При класифікації за водними об'єктами є такі типи гідрології суші:

- 1) гідрологія річок (потамологія);
- 2) гідрологія озер (лімнологія);
- 3) гідрологія боліт (гельматологія);

4) гідрологія водосховищ (гляціологія).

Завдання гідрології такі:

- 1) Ознайомлення із визначенням і класифікацією водних об'єктів.
- 2) Складання водних балансів водних об'єктів.
- 3) Ознайомлення із динамікою водних мас (рух води по ухилах і руслах річок, рух ґрунтових вод, вітрові хвилі).
- 4) Рух наносів, водна ерозія, процеси в руслах річок.

1.2. Визначення і класифікація водних об'єктів

Світовий океан – це безперервний водний простір, який займає приблизно 71% поверхні Землі (360 млн. км²), при середній глибині 3,7 км. Відповідно до географічних умов, Світовий океан поділяється на окремі *океани* – найбільші частини Світового океану, обмежені з різних сторін не зв'язаними між собою материками. Прийнято виділяти чотири океани: Тихий, Атлантичний, Індійський і Північний Льодовитий. У свою чергу, в кожному з океанів виділяють *моря* – більше або менше відокремлені і достатньо обширні райони океану, які мають власний гідрологічний режим, створений під впливом місцевих умов і затрудненого водообміну із прилеглими районами океану. Моря поділяються на три групи:

- 1) *внутрішні (середземні і напівзамкнені);*
- 2) *узбічні;*
- 3) *міжострівні.*

До першого типу належать Середземне, Берінгове, Чорне, Балтійське, Японське.

До узбічних морів відносяться арктичні моря, за винятком Білого моря.

До міжострівних морів належать моря Індонезійського, Малайзійського та Філіппінського архіпелагів.

Більш дрібні підрозділи океанів і морів – це затоки, бухти, губи, фіорди, лимани, застави і протоки.

Затокою називається частина моря, яка входить у сушу і достатньо відкрита для впливу прилеглих вод (Аляска, Філіппінська, Біскайська, Гвінейська та ін.).

Бухта – це невелика затока, обмежена островами або півостровами, які утруднюють водообмін між бухтою і прилеглою водоймою (Севастопольська, Золотий ріг, Цемеська та ін.).

Губою називається затока, яка глибоко входить у сушу в яку, зазвичай, впадають ріки (Обська, Двінська, Пенжинська та ін.).

Фіорди – зигзагоподібні, вузькі, затоки які глибоко входять у сушу (материк), береги яких вкриті скельними породами і які розміщені на берегах Нової Землі, Норвегії, Ісландії, Кольського півострова.

Лиманом називається затока, обмежена морем у результаті незначного опускання суші гирлова частина долини річки, або балки (Хаджибеїв лиман, Сиван, Дністровський лиман).

Заплатою називається: а) неглибока водойма, відокремлена від моря береговим валом, утвореним у результаті відкладання наносів, сполучена з морем вузькою протокою; б) ділянка моря між материком і кораловим рифом всередині атолу.

Протока – це відносно вузька частина Світового океану, яка сполучає дві водойми із достатньо самостійними природними умовами.

Озером називається природна водойма із замкнутим водообміном, утворена в результаті заповнення водою впадини на поверхні суші. Озера можуть бути стічними і нестічними. Загальна площа озер на Земній кулі становить близько 2,7 млн. км² (18% суходолу). Озера мають різне розташування відносно рівня моря. Глибина озера Байкал 1500 м. У Тибеті озеро розташоване на висоті 5400 м, Мертве море (озеро) у Палестині нижче рівня моря на 312 м.

Річка – це водяний потік відносно великих розмірів, живильними елементами якого, як правило, є атмосферні

опади і підземні води. Цей потік тече в розробленому ним руслі, тобто, у найбільш пониженій частині річкової долини. Довжина річок коливається у широких межах (Амазонка – 6200 км, Волга – 3350 км, Дніпро – 2201 км – третя у Європі, після Волги і Дунаю).

Болото – водойма, дно якої покрите шаром торфу і специфічною рослинністю.

Питання до першого розділу:

1. Як відрізняється кількість опадів на поверхню Світового океану і континентів?
2. Яка кількість води випаровується із поверхні вод Світового океану?
3. Скільки разів на рік поновлюється водяна пара у атмосфері?
4. Яка загальна маса опадів на поверхню суші?
5. У чому суть малого колообігу води на Землі?
6. Поясніть схему великого колообігу води на Землі.
7. Скільки різновидів води існує в природі?
8. Як змінюється густина води при зміні її температури?
9. Як змінюється густина води, водяної пари і льоду при зміні температури?
10. Назвіть типи гідрології суші.
11. Дайте визначення типів водних об'єктів.
12. Яка різниця між протокою і затокою?
13. Який водний об'єкт називається фіордом?
14. Яка різниця між озером і болотом?

РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА ГІДРОЛОГІЯ СУХОДОЛУ. ГІДРОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Водний баланс земної кулі і континенту

Співвідношення приходу і витрат води з урахуванням зміни її запасів за вибраний інтервал часу для певного водного об'єкта називається водним балансом.

Для складання водного балансу Земної кулі запишемо умови рівності приходу і витрат води в океані і на суші:

$$X_o + Y = Z_o; \quad X_c - Y = Z_c$$

де X_o – середньорічні опади на поверхню океанів і морів, мм;

Y – середньорічний стік річкових басейнів, мм;

Z_o – середньорічне випаровування із океанів і морів, мм;

X_c – середньорічні опади на поверхню суходолу, мм;

Z_c – середньорічне випаровування із суходолу, мм.

Додавши рівності, отримаємо:

$$X_o + X_c = Z_o + Z_c \quad (2.1)$$

Тобто, кількість води, що випаровується із поверхні морів, океанів і континентів, дорівнює кількості опадів, що випали на ці поверхні.

Рівняння (2.1) називається рівнянням водного балансу і може бути складене для певного водного об'єкта (озеро, водосховище, річка, гідрологічний район, країна, материк і Земна куля).

Рівняння водного балансу для континенту за багаторічний період записується так:

$$X_o + X_c + X_k = Y + U + Z \quad (2.2)$$

де X_o – опади, які випали за рахунок вологи, принесеної із океану і прилеглих територій, мм;

X_2 – опади, які утворилися за рахунок місцевого випаровування, мм;

X_3 – конденсація вологи, мм;

Y – річковий стік води, мм;

U – підземні води, мм;

Z – сумарне випаровування вологи, мм.

Для практичних розрахунків рівняння (2.2) використовується в такому вигляді:

$$X = Y + U + Z \quad (2.3)$$

де X – сумарні опади на континенті, включаючи конденсацію вологи, яка в певних регіонах складає значну величину (у пустелі, зоні вічної мерзлоти), мм.

2.2. Рівняння водного балансу річкових басейнів

Основними компонентами водного балансу річкових басейнів є такі: опади X , стік Y і випаровування Z . При складанні рівняння водного балансу річкових басейнів за обмежений проміжок часу (місяць, чи рік) необхідно врахувати зміну запасів вологи U в басейні – зростання чи зменшення снігового покриття, зміну запасів води в озерах, болотах і руслах рік, накопичення і витрати ґрунтових вод.

Величина U може мати як додатне (при накопиченні вологи у басейні в багатоводні періоди), так і від'ємне значення (в маловодні роки). Враховується також підземний водообмін W суміжних підземних басейнів у зв'язку з неспівпаданням поверхневого і підземного водозаборів; W має знак плюс при поступанні води за межі водозбору, що розглядається, і мінус у протилежному випадку. Тому:

$$X = Y + Z \pm U \pm W \quad (2.4)$$

Величина W із збільшенням площі водозбору зменшується, тому для достатньо великих річкових басейнів

можна вважати, що $W = 0$. Тоді рівняння (2.4) набуде такого вигляду:

$$X = Y + Z \pm U \quad (2.5)$$

Це рівняння можна використати для річного інтервалу, включаючи період накопичення і період витрат вологи у розглянутому регіоні. Такий інтервал називається гідрологічним роком. Рівняння водного балансу річкових басейнів за період часу, включаючи n років, має такий вигляд:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (2.6)$$

Третя складова рівняння (2.6) прямує до нуля, тому рівняння (2.6) можна записати в такому вигляді:

$$X_0 = Y_0 + Z_0 \quad (2.7)$$

де $X_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ – норма опадів, мм;

$Y_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ – норма стоку, мм;

$Z_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i$ – норма випаровування, мм;

Розділивши праву і ліву частину рівняння (2.7) на X_0 , отримаємо:

$$\frac{Y_0}{X_0} + \frac{Z_0}{X_0} = 1 \quad (2.8)$$

Відношення $Y/X=\beta$ шару стоку до кількості опадів, що випали на площу водозбору і обумовлюють стік - називається коефіцієнтом стоку.

Відношення $Z/X=\beta$ називається коефіцієнтом випаровування.

Тоді рівняння (2.8) набуде такого вигляду:

$$\mu_0 + \beta_0 = 1, \quad (2.9)$$

де μ_0 - норма коефіцієнта стоку;

β_0 - норма коефіцієнта випаровування.

Кожний із цих коефіцієнтів змінюється від 0 до 1 і їх сума дорівнює одиниці.

2.3. Водний баланс озер і водосховищ

Водний баланс озер і водосховищ може бути описаний одним рівнянням. Різниця між притоком води у озері (водосховищі) і витратами води із них за обмежений проміжок часу дорівнює збільшенню або зменшенню об'єму води в озері (водосховищі). Прихідна частина рівняння включає стік Y у озеро (водосховище) із річок та інших поверхневих джерел Y (мм); опади, які випали на поверхню озера (водосховища) X (мм). Витратна частина складається із випаровування Z (мм) із поверхні озера чи водосховища; річкового стоку із озера чи водосховища y (мм), а також підземного стоку із озера чи водосховища U (мм).

Рівняння водного балансу озера або водосховища має такий вигляд:

$$Y + X = Z + y + U \quad (2.10)$$

де Y - стік у озеро чи водосховище із річки або інших поверхневих джерел, мм;

X - опади, які випали на поверхню озера чи водосховища, мм;

Z - випаровування води із озера чи водосховища, мм;

y - річковий стік із озера чи водосховища, мм;

U - підземний стік із озера чи водосховища, мм.

Питання до другого розділу:

1. Яке співвідношення називається водним балансом водних об'єктів?
2. Наведіть рівняння водного балансу Земної кулі і континенту.
3. Яка величина називається нормою стоку, опадів випаровування?
4. Наведіть рівняння водного балансу озера і водосховища.
5. У чому полягає розрахунок норми стоку із річок?
6. Яка суть розрахунку норми стоку річки за допомогою емпіричних формул?
7. У чому полягає методика розрахунку стоку зважених наносів і терміну замулення озер і водосховищ?
8. Яка суть розрахунку середніх швидкостей та витрат води у річках за допомогою емпіричних формул?



РОЗДІЛ 3. ЖИВЛЕННЯ І ВОДНИЙ РЕЖИМ РІЧОК

3.1. Основні поняття живлення і водного режиму річок

Надходження води до річок обумовлене колообігом води на Земній кулі. Сукупність факторів, які обумовлюють водоносність річок, називається *живленням річок*. У живленні річок беруть участь води, що знаходяться у рідкому й твердому стані, а також води, які всмокчуються в ґрунти, утворюючи запаси підземних ґрунтових вод. Розрізняють дощове, підземне, снігове і льодове живлення річок. Якщо джерела живлення різні одночасно, то таке живлення називають змішаним. Суттєва різниця між видами живлення полягає в тому, що проміжок часу від випадання опадів до безпосередньої участі їх у формуванні витрат води у водних об'єктах суттєво відрізняється. Найшвидше реагують ріки на рідкі опади, що випали в їх басейні. Тверді опади рідко розтоплюються за декілька годин, переважно вони лежать у початковому вигляді десятки років і більше.

Водним режимом називається зміна в часі рівнів, витрат і об'ємів води у водних об'єктах і у ґрунтах. Головна кількісна характеристика водного режиму річок – гідрограф-хронологічний графік зміни витрат води у тому чи іншому перерізі водотоку. Деколи використовується хронологічний графік зміни рівнів води, який називається *графіком коливань рівня води*.

3.2. Повноводдя і повені

Об'єм річного стоку може змінюватися з року в рік, але характерні риси (фази) режиму річки, які залежать від умов живлення, в основному зберігаються. У зв'язку з цим, введено поняття *фаза водного режиму річок*. Основними фазами водного режиму річки є повноводдя, повені і межені.

Фаза водного режиму річки, яка щорічно повторюється у тих чи інших кліматичних умовах в один і той же сезон,

характеризується найбільшою водністю, високим і довготривалим підйомом рівня води і є наслідком танення снігу й льодовиків називається *повноводдям*. Розрізняють повноводдя весняне, весняно-літнє і літнє.

Фаза водного режиму річки, яка може багато разів повторюватися в різні сезони року, характеризується інтенсивним, зазвичай, короткочасним збільшенням витрат і рівнів води, які викликані дощами чи танінням снігу під час відлиг, називається *повіньню*. Затоплення територій водою, яке є стихійним лихом, називається *наводненням*.

Фаза водного режиму річки, яка повторюється кожного року в одні ті ж сезони і характеризується малою водністю, довготривалим станом низького рівня і викликана зменшенням живлення річки, називається *меженню*. Розрізняють літню і зимову межені, які є причиною зменшення живлення річок у названі сезони року.

3.3. Фактори, що впливають на стік річок

Відомо, що стік води складне явище, яке викликане процесом колообігу води в природі і являє собою рух води по поверхні Землі, у товщині ґрунтів і гірських порід. Розрізняють стоки по ухилах, у ґрунтовій товщині, по русловій і річковій сітці. Стік, сформований у межах певного фізико-географічного району, називається *місцевим стоком*.

На стік води впливають такі показники: атмосферні опади та їх внутрішньорічний розподіл, випаровування, просочування води у ґрунти. Просочування відбувається у вигляді інфільтрації та інфлюації (просочування тріщинами, ходами і пустотами у земній корі). На стік впливають рельєф і будова земної поверхні, ґрунтово-геологічні умови, озерність і болотистість місцевості та її заліснення. Стік територією Земної кулі змінюється зонально. Виділяють п'ять гідрологічних зон: дуже волога (тундрова), надлишково-волога (лісова), помірно волога (лісостеп), напівсуха (степова і напівпустеля), суха (пустеля).

Питання до третього розділу:

1. Дайте визначення водного режиму річок.
2. Назвіть основні фази водного режиму річки.
3. Яка величина називається рівнем води у водотоці?
4. Якого типу бувають стоки води?
5. Який водний режим характеризується найнижчим рівнем води в річці і чому?
6. Яку величину називають живленням річок?
7. Яка різниця між повноводдям і паводком?
8. Які бувають гідрологічні зони?
9. Дайте визначення місцевого стоку.

РОЗДІЛ 4. ГІДРОМЕТРІЯ

4.1. Загальні визначення

Гідрометрія є розділом гідрології. До її завдань входять розробка приладів і методів кількісного визначення різних характеристик і систематичне вивчення гідрологічного режиму водних об'єктів; отримання багаторічних рядів спостережень за рівнями, швидкостями течій, елементами хвиль, витратами і стоком води і наносів; дослідження температурного режиму, розподілу щільності, хімічного складу води, льодових явищ і т.д.

Дані щодо гідрологічного режиму водних об'єктів необхідні для організації руху водного транспорту, проектування гідротехнічних споруд різного призначення (транспортних, енергетичних, водозабірних та ін.), планування водоспоживання, створення бази для наукових узагальнень. До завдань інженерної гідрометрії входить організація і спостереження за режимом водних об'єктів при будівництві і експлуатації різних інженерних споруд, що впливають на природний режим водойм. Гідрометрія включає такі розділи: гідрометрія атмосферних вод, гідрометрія океанів і морів, озер і водосховищ, гідрометрія річок, підземних вод і т.д.

Найбільш розробленими і такими, що виділилися в самостійні наукові дисципліни, є морська і річкова гідрометрія. Незважаючи на певну специфіку, пов'язану із об'єктом вивчення, у прийомах і способах вивчення характеристик річок і морів (водосховищ і озер) є досить багато спільного. Тому надалі розглядаються, в основному, проблеми, пов'язані з річковою гідрометрією.

Державна гідрометеорологічна мережа складається з основних (опорних) і спеціальних станцій та постів.

На основних станціях і постах ведуться постійні спостереження за гідрометеорологічними і атмосферними

процесами протягом тривалого часу. Спеціальні станції і пости організуються на певний період для вивчення місцевих умов, наприклад, гідрометеорологічного режиму водосховищ і озер, гирлових ділянок річки і прилеглому морському узбережжю, тощо.

До складу основних гідрометеорологічних робіт на річках і водоймах входять:

- спостереження за рівнем води і його коливаннями;
- вимірювальні роботи для вивчення глибини і рельєфу дна водних об'єктів;
- спостереження за ухилами водної поверхні (на річках);
- спостереження за температурою води, замерзанням і розкриттям водойм, станом покриву;
- вимірювання швидкостей і напрямів течій; спостереження за кольором, прозорістю, щільністю й хімічним складом води;
- вимірювання параметрів хвиль; визначення витрати і стоку води і наносів;
- визначення механічного і петрографічного складу наносів і відкладень на дні.

Дані гідрометеорологічних спостережень зі всіх станцій і постів, розташованих на суші океанах і морях, зосереджуються у Гідрометцентрі України. Їх опрацьовують, аналізують і вони служать для вирішення різних науково-теоретичних і господарських проблем, зокрема, для розробки теоретичних основ гідрології і океанології, прогнозу природних явищ, розробки водогосподарських балансів регіонів і окремих об'єктів, забезпечення початковими матеріалами проектів великих гідротехнічних споруд і т.п.

Висотне положення поверхні води в даній точці щодо умовної горизонтальної незмінної за висотою площини відліку *називається рівнем води*. Спостереження за рівнем води, зазвичай, ведуть тривалий час, тому умовну площину поміщають на 0,5...1,0 м нижче від найнижчого можливого розташування рівня (у водосховищах – із урахуванням

зниження рівня, а в морях – із урахуванням припливно-відпливних коливань), для того, щоб відліки рівня були завжди додатними. Ця площина береться за нуль відліків і називається нулем графіка водомірного поста. Основні відліки положення рівня в звичайних умовах знімаються двічі на добу – о 8 і 20 год. – на річках і чотири рази на добу в морі – о 3, 9, 15 і 21 год. В екстремальних умовах інтервали часу між термінами спостереження скорочуються. Наприклад, у період повені і повноводдя на річках призначаються додаткові терміни через 2, 4 і 6 год., під час припливних змін рівня у морях інтервали спостережень скорочуються, іноді до 1 год. Дані, отримані у терміни спостережень, називаються терміновими. Терміновий максимальний рівень може відрізнитися від миттєвого максимального рівня, який може бути між термінами спостереження.

Місце, обладнане для спостереження за рівнем води, *називають водомірним постом*. Водомірні пости залежно від терміну їх дії можуть бути постійними і тимчасовими. За своєю конструкцією водомірні пости бувають прості (рейкові, палеві і рейково-палеві) і передавальні. Останні, у свою чергу, діляться на пости з неавтоматичними і автоматичними покажчиками рівня води. Неавтоматичні безперервно реєструють рівень води; тут використовують самописці: лімнографи і мареографи, відповідно, при вимірюваннях на річках і на морях. Є й дистанційні пристрої, які дозволяють вести реєстрацію рівня на значній відстані від водного об'єкта в автоматичному режимі.

Висотне положення вимірювальних пристроїв водомірного поста вимагає систематичного контролю, тому водомірний пост обладнують основними і контрольними реперами. Репери встановлюють близько від водомірного поста поза зоною затоплення.

Рейковий пост – це рейка, укріплена на спорудах (мостах, гідротехнічних спорудах і т.п.) у вертикальному

положенні, з ціною поділки 2,0 см, що дозволяє вимірювати рівень з точністю до 1,0 см.

На пологих берегах і за відсутності гідротехнічних споруд влаштовують пости у вигляді ряду палей, забитих в одному створі перпендикулярно до течії річки або урізу води. Майданчик найвищої палі повинен бути на 0,25...0,5 м вищий, ніж найвищий історичний рівень, а майданчик нижньої палі – на 0,5 м нижчий, ніж найнижчий рівень. Відстань по вертикалі між майданчиками суміжних палей повинна бути більша ніж 0,8 м; горизонтальні відстані між палями приймають, виходячи із місцевих умов і зручності спостережень, але не більше ніж 50 м. Палі нумерують зверху вниз.

Оскільки нуль рейки неможливо сумістити з нулем поста, то після її встановлення нівелюванням визначають перевищення нуля рейки над нулем графіка поста, так зване, приведення.

Для підвищення точності відліку при малій амплітуді коливань рівня в умовах гірських річок, де набігання води на рейку може спотворити відліки за рейкою, при спостереженнях на водосховищах і морях для захисту від хвиль рейку слід встановлювати у спеціально виконаному котловані, сполученому каналом із річкою або водоймою. Для отримання безперервної інформації про зміну рівня на річках і водоймах застосовують самописці рівня води різної конструкції. Найбільшого поширення набули самописці, у яких зміна рівня спостерігається за допомогою поплавка, що підіймається і опускається разом із рівнем води. Рух поплавка передається за допомогою колеса, поплавок і шестерень барабану, який обертається на горизонтальній осі. На барабані закріплюється розграфлений папір, на якому перо, що переміщується вздовж барабана, який обертається за допомогою годинникового механізму викреслює хід рівня.

Самописці встановлюють у спеціальних приміщеннях на березі, гідротехнічних спорудах або на спеціальній основі,

наприклад, палі. Поплавок розміщується у колодязі, шахті або трубі, що виключає дію на поплавок короткоперіодичних (хвилевих) коливань рівня.

Для визначення ухилу вільної поверхні води у річці влаштовують вище і нижче за основний водомірний пост, так звані, ухильні пости, відстань між якими, залежно від точності вимірювань, змінюється від 100 до 8000 м.

4.2. Вимірювальні роботи. Вимірювання рівнів води у водних об'єктах

Висота поверхні води у водному об'єкті над умовною горизонтальною площиною (незмінною щодо висоти) називається *рівнем води*. Над рівнем води необхідні довготермінові спостереження, тому умовно площину $0-0$ на рис.2 розміщують на 0,5 м нижче, ніж фактично найнижчий рівень води H_{\min} . Це дає змогу позбавитись від'ємних значень висоти H . Якщо водні об'єкти замерзають, то рівні води фіксують по поверхні води в ополонках, прорубаних у льоду.

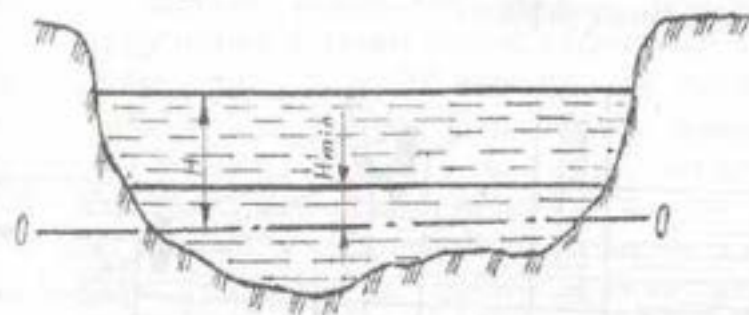


Рис.4.1. Схема поперечного перерізу водотоку

Пристрій для вимірювання рівня води у водоточі чи водоймі називається *водомирним постом*. У гідрології та гідротехніці вживають термін „рівнемір”. Це прилад чи установка для вимірювання рівня води. Водомірні пости

(рівнеміри) входять до складу обладнання гідрологічних постів – пунктів на водному об'єкті, обладнаних пристроями для проведення систематичних гідрологічних спостережень. Умовна горизонтальна площина порівняння, прийнята за нуль відрахунку при вимірюванні рівня води на гідрологічному (водомирному) посту, називається *нулем графіка водомирного поста*. Водомірні пости бувають тимчасові й постійні. Тимчасові – на період будівництва чи підготовки до нього, постійні – для наукових спостережень. За конструкцією водомірні пости можна поділити на такі групи:

- 1) *Непередавальні* – на яких рівень води відраховується безпосередньо за поділками рейки. До них належать: рейкові, пальові, рейково – пальові.
- 2) *Передавальні* – де рівень фіксується на деякій відстані від вільної поверхні води, тобто, положення рівня реєструється приладом, сигнал на який передається за допомогою задавача.

Передавальні пости можуть бути обладнані приладом неперервної реєстрації рівнів води за допомогою самописців рівня або лімнографів.

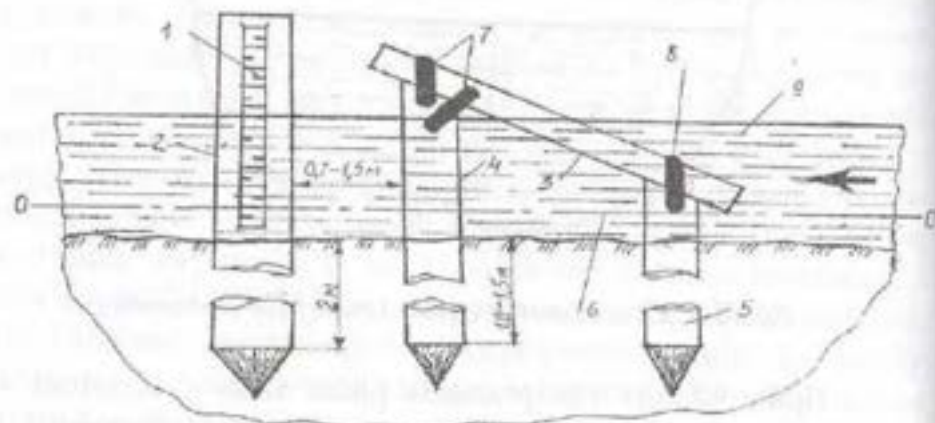


Рис.4.2. Схема рейкового водомирного поста

1 – шкала водомирної рейки; 2 – рейка, закріплена на палі; 3 – огорожа рейки; 4, 5 – палі огорожі; 6 – штанга порівняння; 7, 8 – елементи кріплення огорожі; 9 – русло водостоку

На рейкових постах встановлюють вертикальну або нахилену рейку із поділками, які дозволяють вимірювати рівень із точністю до 1 см. Вертикальні рейки прикріплюють до стінок набережної, шлюзу, греблі, опори моста по можливості в одній площині з їх поверхнею. Довжина рейки повинна перевищувати амплітуду коливань рівнів приблизно на 0,5–1 м. Бажано використовувати металеві рейки – емальовані, яскравих кольорів. Для охорони рейки від пошкоджень предметами, що пливають по річці (наприклад, льодом) застосовують огорожу (див. рис. 4.2).

4.3. Вимірювання глибини потоку

Відстань по вертикалі від вільної поверхні потоку до дна або відстань в площині живого перерізу від вільної поверхні потоку до дна називається *глибиною потоку (місцева глибина)*. Саме друга величина теоретично є основною і повинна використовуватися у підрахунках живого перерізу потоку і, таким чином, витрат води. Проте при кутах ухилу дна $\mu = 10^0$ різниця між указаними глибинами складає всього 1,5%. За допомогою вимірних глибин можна визначити форму рельєфу дна потоку або водойми, об'єм води у водосховищі чи озері.

Глибини вимірюють гідрометричною штангою, лотом і гідрометричним профілографом. Гідрометрична штанга – це дерев'яна жердина довжиною до 7 м і діаметром 50 – 60 мм із 10-міліметровими поділками. Її можна застосовувати тільки при відносно невеликих глибинах (5 – 6 м) і невеликих швидкостях потоку (до 1 м/с потоку води). Шкала закінчується залізною підшоною масою 0,5 – 1 кг і діаметром диска 150 – 300 мм. Нижня поверхня підшови співпадає із нульовою поділкою шкали.

При глибинах $h > 6$ м застосовуються ручні і механічні лоти. Ручний лот – тягар масою 3 – 6 кг конічної чи пірамідальної форми, підвішений на шнурі з позначками (лотлинів). Він застосовується при невеликих швидкостях руху води (до 1 м/с). Для вимірювання глибини лот закидають вгору за течією води і вибирають лину так, щоб у момент відрахунку глибини вона була у вертикальному положенні.

У механічному лоті використовується гідрометричний тягар, який опускається у воду на тонкій линві (лотлинів) (див. рис.4.3) за допомогою механічної лебідки.

Тягар до линви закріплюють за допомогою вертлюга, який забезпечує вільне обертання тягара в горизонтальній площині і установку його в напрямі течії річки. Механічний лот застосовують при будь-яких швидкостях потоку річки.

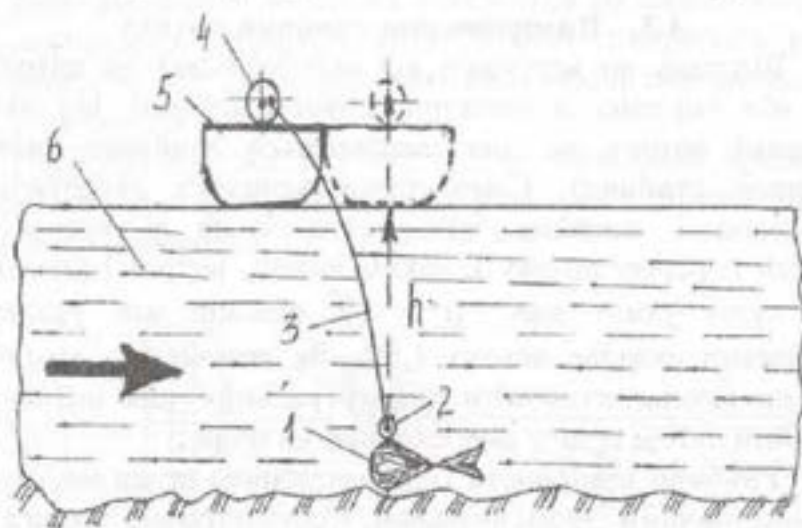


Рис. 4.3. Схема механічного лота для вимірювання глибини потоку

1 – тягар; 2 – вертлюг; 3 – лотлинів; 4 – лебідка; 5 – плаваючий пристрій (човен, катер); 6 – русло потоку.

- 1) Механічні профілографи – робота їх базується на передаванні вимірюваних глибин на механізм записування за допомогою тягара або жорсткої штанги.
- 2) Акустичні профілографи – звуколоти, в яких виміряні глибини потоку передаються на механізм записування за допомогою ультразвукових хвиль, що поглинаються, відбиваючись від дна водойми спеціальним приймачем, встановленим біля борта чи дна судна.

4.4. Методика вимірювання швидкості потоку

Є два способи вимірювання швидкості течії води: місцевий та інтеграційний. Місцевий спосіб полягає у вимірюванні місцевих швидкостей руху води в строго фіксованих місцях потоку, які називаються швидкісними.

Інтеграційним способом вимірюється швидкість, інтегрована по будь-якому напрямку: вертикальному, горизонтальному чи похилому. Різновидністю інтеграційного способу є ультразвуковий. Суть його полягає в тому, що задавачі, які дозволяють посылати і приймати ультразвукові імпульси, встановлюють над поверхнею води біля берегів із деяким зміщенням за довжиною потоку (див. рис. 4.4).

Тоді відповідно до схеми, наведеної на рис. 4.4, середню швидкість потоку можна розрахувати за такою залежністю:

$$V_c = L/2 \cos \beta (1/t_1 - 1/t_2), \text{ м/с}, \quad (4.1)$$

де t_1 – час проходження ультразвуку прямо, с;
 t_2 – час повернення ультразвуку назад, с.

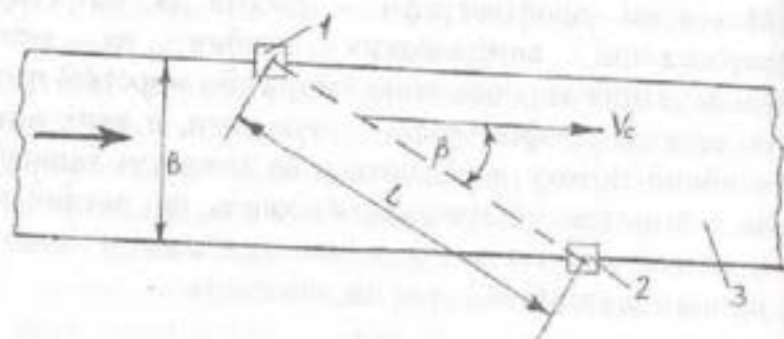


Рис. 4.4. Схема вимірювання середньої швидкості ультразвуковим способом

B – ширина потоку, м; L – відстань між місцями встановлення задавача і приймача на берегах річки, м; β – кут між напрямом швидкості потоку і відстанню між задавачем і приймачем; V_c – середня швидкість потоку, м/с; 1 – задавач; 2 – приймач; 3 – русло потоку

Оскільки $L = B/\sin \beta$, то:

$$V_c = B/2 \sin \beta \cos \beta (1/t_1 - 1/t_2), \text{ м/с}, \quad (4.2)$$

де B – ширина потоку, м

При місцевому способі вимірювання найбільш розповсюдженими пристроями для вимірювання швидкості потоку є гідрометричні поплавки, гідрометричні вертіляця, гідрометричні трубки, гідрометричні флюгери, гідрометричні динамометри, радіоактивні і лазерні вимірювачі швидкості, термогідрометри.

Поверхневі поплавки виготовляють із брусків чи кружків дерева висотою 30 – 70 мм, або сполучених навхрест двох дощок. Швидкість руху поплавка визначають за траєкторією його руху за певний проміжок часу.

Глибинні поплавки складаються із сполучених тонкою ниткою верхнього поплавка і нижнього, глибинного, зануреного на глибину h (див. рис. 4.5). Верхній поплавок служить показником, він має необхідну плавучість для

підтримування нижнього поплавка, який має бути трохи важчим, ніж вода.

Гідрометричні вертіляця – складаються із робочого колеса, корпусу та лічильно-контактного механізму із ковзним опірнням. Найбільше розповсюдження мають вертіляця Жестовського, що мають лопатевий гвинт діаметром 120 мм і кроком гвинта 215 мм. Такі пристрої застосовуються для вимірювання швидкості течії в діапазоні 0,1 – 2 м/с при точності вимірювання $\pm 2\%$ (див. рис. 4.8).

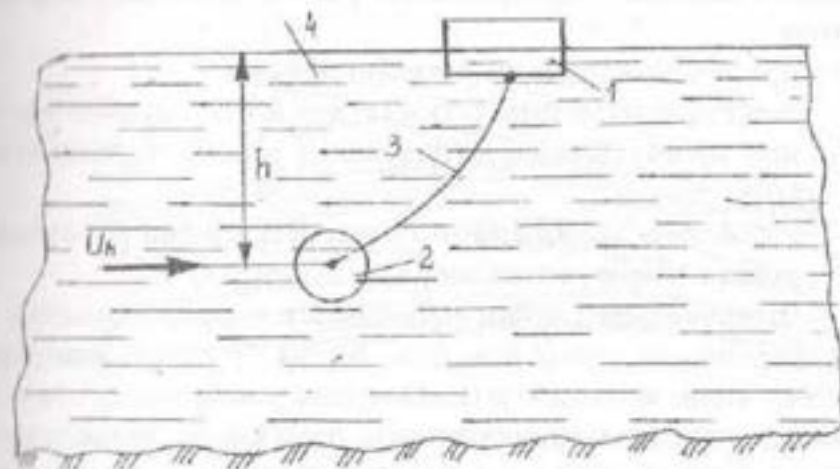


Рис. 4.5. Схема глибинного поплавка

1 – поверхневий поплавок; 2 – глибинний поплавок; 3 – ливна кріплення поплавків; 4 – русло потоку; h – глибина занурення нижнього поплавка, м; U_h – швидкість нижнього поплавка, м/с.

Лазерний вимірювач скеровує монохроматичний (когерентний) промінь лазера в точку потоку, швидкість якого необхідно виміряти. У потоці є частинки (природні, або штучно створені), які відбивають промінь лазера, що потрапляє на них, і спрямовують його до приймача світлового сигналу (фотоелектропомножувач), далі – на

електроаналізатор, який аналізує сигнал у часі, тобто, дає значення швидкості потоку.

Завданням вимірювальних робіт є визначення глибини і рельєфу дна водних об'єктів. Глибиною річки, моря і т.д. називають вертикальну відстань від поверхні води до дна. За наслідками вимірюваних робіт можуть бути складені плани дна водного об'єкта в ізолініях або ізобатах (лінії рівних глибин), визначені площі поперечних перерізів річки, озера і водосховища, з подальшим обчисленням об'єму води в двох останніх випадках. Вимірювальні роботи проводять із різною метою:

- при дослідженнях гідрографії об'єктів;
- при гідрометричних роботах, для потреб судноплавства;
- при проектуванні і експлуатації різних гідротехнічних споруд;
- у зв'язку із запобіжними і берегозахисними роботами на річках, озерах, водосховищах і морях.

Вимірювання глибин проводять в окремих пунктах або безперервно, за профілем дна. Місця, у яких вимірюють глибину води, зазвичай, розташовують у вибраному створі. Їх планове розташування визначають прив'язкою до геодезичної сітки, яка створюється при проведенні вимірювальних робіт. Вимірювання глибин проводять на значних за довжиною ділянках річки і великих площах водосховищ, озер і морів, а це впливає на терміни робіт. За цей час рівень водного об'єкта може змінитися, і для того, щоб зв'язати між собою окремі вимірювання глибин, їх приводять до одного, миттєвого, так званого, умовного рівня. За умовний рівень приймають на річках найбільш низький рівень, що спостерігався у період вимірювальних робіт; на безприпливних (приплив менше 0,5 м) морях за умовний рівень приймають середній багаторічний рівень, а на припливних – найнижчий теоретично можливий із астрономічних причин.

При вимірюванні глибин застосовують *механічний і акустичний способи*.

Останнім часом для вимірювання глибин широко застосовують ехоловловачі, дія яких заснована на висланні ультразвукових імпульсів від вібратора-випромінювача у воду і прийманні відбитого від дна сигналу (відлуння) вібратором-приймачем. Час розповсюдження імпульсу від випромінювача до дна і назад, до приймача, пропорційний глибині потоку.

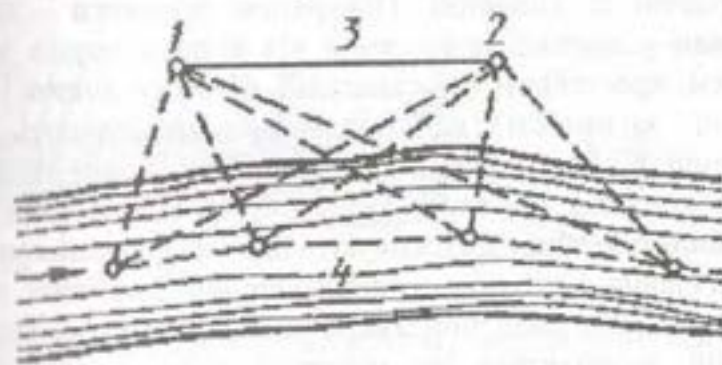


Рис. 4.6. Схема вимірювання глибин потоку за допомогою ехоловловача

1 – вібратор-випромінювач; 2 – вібратор-приймач; 3 – відстань між вібраторами; 4 – русло потоку.

Швидкість течії у річках, озерах, водосховищах і береговій зоні моря можуть вимірюватися різними способами за допомогою приладів різного типу і конструкції.

Способи вимірювання швидкості течії діляться на дві групи:

- спосіб поплавків, при якому для визначення течії спостерігають за рухом плаваючих предметів, природних або штучних (поплавків);
- способом вертільця, при якому швидкість течії визначають у фіксованій точці за допомогою нерухомо

встановлених приладів для вимірювання тиску потоку води на лопатеві гвинти цих приладів.

Спосіб поплавків дозволяє отримати просторову картину течій у вигляді ліній струму – траєкторій руху поплавків. Спосіб вертіляця дозволяє визначити швидкість течії в тому, чи іншому місці в умовах моря і напрям вектора швидкості.

У цих умовах (річки і берегової зони моря) широкого поширення набули вільно плаваючі поплавки. Ці поплавки є поверхневі та глибинні. Поверхневі поплавки – це прості прилади у вигляді відпиляних від колоди кругів заввишки 5...7 см, хрестовини з поставлених на ребро дощок і т.д. Для кращої видимості на поплавках закріплюють яскраві прапориці, а для підвищення стійкості і зменшення впливу вітру знизу кріплять на тросі (або шнурі) відповідний вантаж. Глибинні поплавки застосовують для вимірювання швидкості і визначення течії на потрібній глибині. Глибинні поплавки складаються з двох поплавків, зв'язаних між собою; з них верхній знаходиться на поверхні води, а нижній – на потрібній глибині (див. рис. 4.5). Верхній поплавок повинен мати деяку надмірну плавучість, його роблять, зазвичай, із коркового дерева або пінопласту, щоб підтримати нижній поплавок, який володіє незначною негативною плавучістю у заданому положенні.

Для вимірювання течій на річках і морях широко використовують, так звані, гідрометричні вертіляця, які конструктивно складаються з робочого колеса із вертикальною або горизонтальною віссю обертання, корпусу, рахунково-контактного механізму, хвостового оперення, а в морському вертіляці – показника напрямку течії (див. рис.4.8). Задавачем швидкості гідрометричного вертіляця є робоче колесо, частота обертання якого залежить від швидкості течії. Знаючи число обертів робочого колеса N за T секунд, можна знайти $n = N/T$ і за калібрувальною кривою визначити швидкість.

Вимірювання швидкості течії вертіляцями можна проводити місцевим або інтеграційним способом. При місцевому способі швидкість вимірюють у строго фіксованому місці потоку. При інтеграційному способі вимірюють середню швидкість за будь-яким напрямом. Наприклад, якщо гідрометричний вертіляць перемішувати в потоці вертикально, то можна відразу визначити середню вертикальну швидкість. Частіше застосовують місцевий метод, який дозволяє отримати значення швидкості потоку в різних місцях по вертикалі і побудувати епіюру швидкостей.

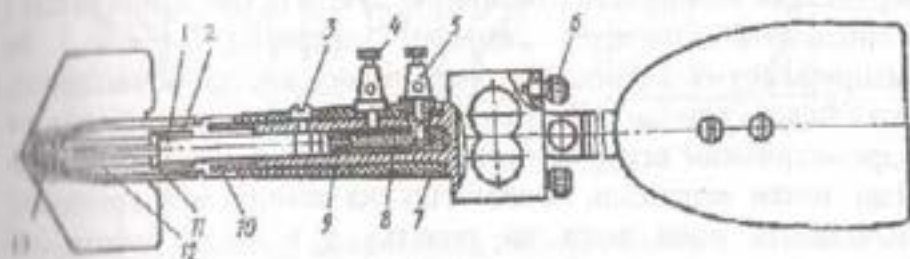


Рис.4.7. Схема гідродинамічного вертіляця (поздовжній переріз)

1 – вал робочого колеса; 2 – підшипник вазу; 3, 4, 5, 6 – регулятори швидкості робочого колеса; 7, 8, 9 – втулки регуляторів; 10, 11 – позначки стрижні; 12 – конічна втулка робочого колеса; 13 – гайка кріплення робочого колеса.

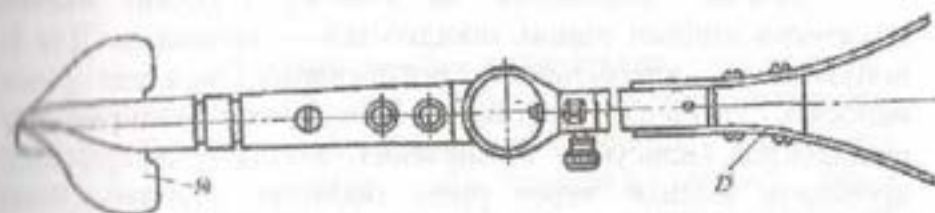


Рис. 4.8. Схема гідродинамічного вертіляця (вигляд зверху)

14 – робоче колесо; 15 – хвостове оперення.

Близько від гідрометричного створу повинні бути обладнані водомірний пост і ухильні водомірні пости. Повинні бути передбачені засоби для проведення вимірювань у створі (гідрометричні містки, плавзасоби і т. п.). У гідрометричному створі позначають положення швидкісних вертикалей, відстань між якими залежить від ширини річки і профілю дна й складає 2...10 м для річки, ширина якої менша ніж 200 м і 20...50 м при ширині річки, більшій ніж 200 м. Швидкісні вертикалі закріплюють на місцевості різними способами залежно від ширини річки. На швидкісних вертикалях вимірюють глибини, будують профіль дна річки і обчислюють площу „живого” перерізу річки. За вимірюваннями на похилих водомірних постах обчислюють ухил поверхні води. Швидкість вимірюють, зазвичай, одним гідрометричним вертільцем, послідовно перемішуючи його в різні точки вертикалі. Заздалегідь на швидкісній вертикалі визначають рівні води на початку і в кінці роботи на вертикалі, глибини на вертикалі (взимку – від нижньої поверхні льоду), далі обчислюють робочу глибину і глибину занурення вертільця.

За даними вимірювань швидкостей на кожній вертикалі будують епюру швидкостей, а для цього у місцях вимірювання відкладають у певному масштабі значення швидкості; кінці векторів сполучають плавною кривою.

Розподіл швидкостей на живому перетині наочно показують лініями рівних швидкостей — ізотаксами. Для їх побудови на викресленому поперечному перетині річки наносять швидкісні вертикалі, а в точках вимірювання швидкостей виписують їх значення. Методом інтерполяції проводять ізотакси через рівні значення швидкості, які приймають 0,05...0,5 м/с залежно від швидкості течії (рис. 4.9). Відстані між ізотаксами зменшуються від поверхні до дна у зв'язку із збільшенням градієнта швидкості в цьому напрямі.

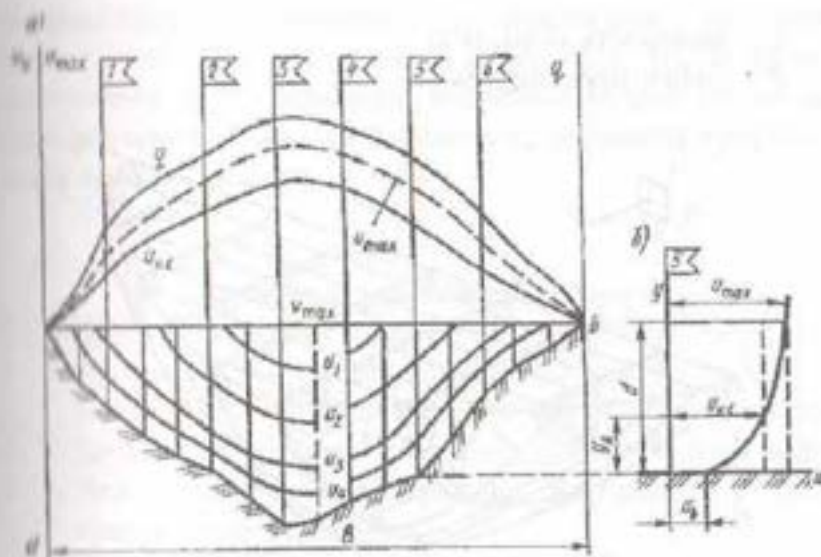


Рис. 4.9. Розподіл швидкостей і витрат води у живому перетині безнапірного потоку.

a — потоки, розподіл швидкостей і витрат; b — еюра швидкостей; B — ширина потоку; h — глибина потоку

Одержані гідрологічні і гідравлічні характеристики потоку (річки) дозволяють перейти до визначення витрати води.

4.5 Визначення витрат води

Чисельно витрата води у річці рівна добутку швидкості на площу. Оскільки швидкість у річці змінюється залежно від площі живого перетину, слід записати витрату через елементарну площину. Якщо площину координат сумістити із площиною живого перетину річки, вісь x сумістити із поверхнею води і вісь y спрямувати вертикально вниз, тоді повна витрата (m^3/c) буде рівна:

$$Q = U \cdot F, m^3/c \quad (4.3)$$

де U – швидкість течії, м/с;
 F – площа перетину, м²

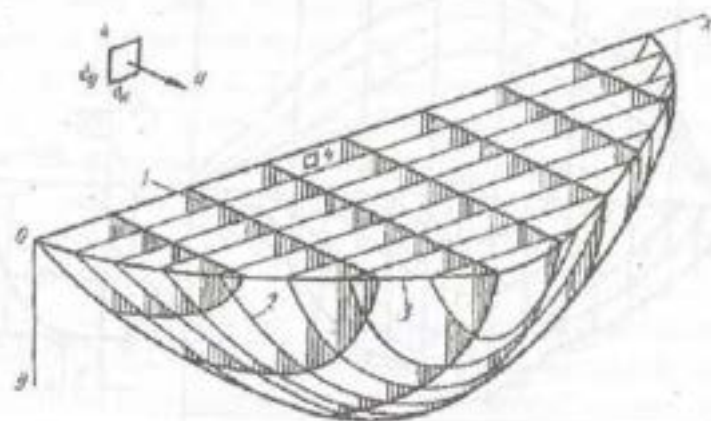


Рис. 4.10. Модель витрати рідини

1, 2, 3 – ізогали розподілу швидкостей; 4 – елементарний об'єм комірки витрат.

Чисельно витрати води у річці рівні об'єму, обмеженому живим перетином, поверхнею води і криволінійною поверхнею, дотичною до кінців векторів швидкостей, проведених нормально до елементарних майданчиків (рис. 4.10). Цей об'єм називають *моделлю витрати потоку рідини*.

При розрахунку витрати (за ізогалами) визначають площі між ізогалами і за їх значеннями будують так звану тахіографічну криву $u = u(l/I)$, де l – площа, обмежена поверхнею води і певною ізогалою (рис. 4.10). Площа, обмежена осями координат і тахіографічною кривою, чисельно рівна витратам води.

Зі зміною витрат річки змінюється рівень води, і може бути встановлений функційний зв'язок рівня з витратами води.

Якщо шорсткість русла і ухил поверхні води змінюються постійними, то відповідно до рівняння рівномірного руху залежність рівня води від витрати буде однозначна, тобто кожному значенню витрат відповідатиме одне значення рівня. Ця залежність, виражена графічно, має назву *кривої витрат*.

Питання до четвертого розділу

1. Дайте визначення рівня води у водотоці?
2. Якого типу бувають водомірні пости?
3. Які бувають прилади для вимірювання глибини потоку?
4. Назвіть способи вимірювання швидкості течії води.
5. Яка будова гідрометричних вертільців і лазерних вимірювачів швидкості?
6. Який водний режим має найнижчий рівень води в річці і чому?
7. Дайте визначення глибини потоку.
8. Поясніть поняття „ізогала”.

РОЗДІЛ 5. РЕГУЛЮВАННЯ СТОКУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

5.1. Завдання регулювання стоку

Регулюванням річкового стоку називають штучний перерозподіл стоку в часі відповідно до вимог водоспоживання, що виражається у збільшенні або зменшенні стоку в окремі періоди часу порівняно з природним побутовим режимом.

Необхідність дії стоку на природний режим з метою якнайповнішого і найбільш раціонального використання водних ресурсів викликана нерівномірним розподілом водних ресурсів на території, стоку у межах року (за сезонами) і стоку за роками (багатоводні і маловодні роки).

Природний режим стоку у більшості випадків не співпадає з вимогами ряду галузей народного господарства, що виникають при використанні водотоків. Доцільно спрямована зміна режиму водних об'єктів для досягнення безперебійного і надійного забезпечення водою населення, промисловості й сільського господарства досягається регулюванням річкового стоку. Перетворення гідрологічного режиму водотоків здійснюється за допомогою штучних водойм (водосховищ), споруд, які сприяють вирішенню комплексу водогосподарських завдань: комунального і промислового водопостачання, зрошування і обводнення, гідроенергетики, водного транспорту, лісосплаву, рибальства, боротьби із повенями і селями.

Першими спробами регулювання стоку у минулому були такі: спорудження гребель і невеликих водойм для водопостачання, зрошування, сплаву лісу, розмелення зерна у водяних млинах, водощій худоби і т.д. Активна дія людини на режим природних вод для своїх потреб визначається розвитком продуктивних сил, що відображають технічний рівень гідротехнічних заходів у різні епохи. У сучасних умовах масового характеру набуло будівництво водосховищ

для водопостачання, зрошування, теплових електростанцій і гідроелектростанцій на середніх і малих річках.

Тепер створення водосховищ із метою раціонального використання водних ресурсів має виключно важливе значення для вирішення багатьох народногосподарських проблем. Водосховища відіграють велику роль у розширеному відтворенні водних ресурсів для отримання енергії (гідравлічні, теплові і атомні електростанції), виробництва продовольчих товарів (зрошування і обводнення земель, осушення боліт і заболочених ґрунтів, захист родючих ґрунтів від затоплення), поліпшення комунального і побутового водопостачання населення (рекреаційні заходи, господарсько-питне водопостачання, створення умов для лікування, відпочинку і туризму) тощо.

Необхідність у науковому і водогосподарському обґрунтуванні гідротехнічних заходів привела до створення нової наукової дисципліни – теорії регулювання і використання річкового стоку, яка почала формуватися в основному у ХХ столітті.

Основними розділами і завданнями теорії регулювання стоку є такі:

- гідрологічні розрахунки, що виконуються при проектуванні водосховищ для визначення основних гідрологічних характеристик водного об'єкта, а також зміни цих характеристик при регулюванні стоку;
- водогосподарські розрахунки за визначенням основних розмірів водосховища, що забезпечують отримання найбільш вигідного водогосподарського ефекту згідно з вимогами до води і до режиму регулювання з боку водоспоживачів і водокористувачів; використання водних ресурсів, тобто, розробка правил регулювання стоку відповідно до вимог експлуатації водосховища.

Крім цих основних завдань, у теорії регулювання стоку його використання велика увага приділяється аналізу

супутніх явищ, викликаних порушенням природного режиму річки при спорудженні водосховищ. До них належать такі:

- втрати води на фільтрацію і випаровування;
- відкладення наносів і замулювання водосховищ;
- зміна рівневого і льодового режимів.

Щодо цього особлива увага приділяється зміні з часом якості води у водосховищі.

5.2. Види регулювання стоку

Види регулювання стоку визначаються завданнями, характером і складом водоспоживачів і водокористувачів.

Регулювання річкового стоку, що виконується за допомогою водосховищ для перерозподілу природного річкового припливу відповідно до інтересів народного господарства, вирішує два основні завдання:

- підвищення стоку у багаторічному розрізі або трансформація щорічного стоку для надійного забезпечення водоспоживачів і водокористувачів;
- зменшення максимальних витрат у повені і повноводді для усунення виникнення повеней на ділянці річки, яка знаходиться нижче, ніж гідровузол, для скорочення розмірів і здешевлення водоскидних споруд.

Аналогічне завдання виконують і водосховища, призначені для боротьби із селевими потоками.

У практиці часто потрібне створення водосховищ, які вирішують обидва названі завдання, що іноді суперечать одне одному. У цьому випадку перевага надається головному водогосподарському завданню, а другорядне розв'язується частково, з урахуванням дотримання умов щодо основного водогосподарського завдання.

Необхідність регулювання для підвищення стоку, так званого регулювання низького стоку, виявляється у порівнянні потрібних витрат води і мінімальних середньодобових витрат річкового стоку за багаторічний період. Якщо перші менші, ніж другі за тими місяцями року,

у яких здійснюється водоспоживання, то необхідність регулювання стоку відпадає. Якщо витрати водоспоживання перевищують мінімальні існуючі витрати річкового стоку, то є потреба регулювання. Встановивши потребу регулювання, вивчають його тривалість, порівнюючи водоспоживання і стік у межах за добу, тиждень, сезон, рік, багаторічність і т.д. Регулювання низького стоку виконується тимчасовим затриманням і накопиченням у водосховищі надлишків стоку над споживанням (у багатоводні періоди), які потім використовуються під час маловоддя, коли надходження менше, ніж споживання.

За тривалістю розрізняють такі види регулювання низького стоку: добове, тижневе, сезонне (або річне) і багаторічне.

Добове регулювання стоку полягає в перерозподілі порівняно рівномірного протягом доби надходження води відповідно до потреб різних споживачів, що змінюються. У години малого водоспоживання вода акумулюється в місткостях, а потім витрачається з них у години підвищеного споживання. При цьому виді регулювання наповнення і зменшення рівня води у водосховищі відбувається протягом однієї доби.

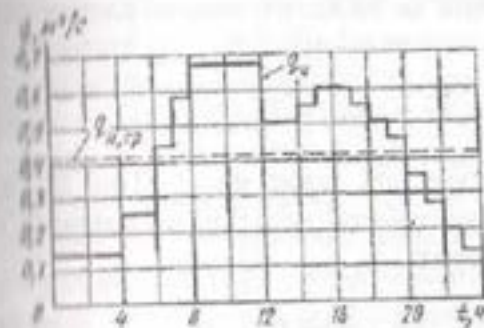


Рис 5.1. Добове регулювання стоку.

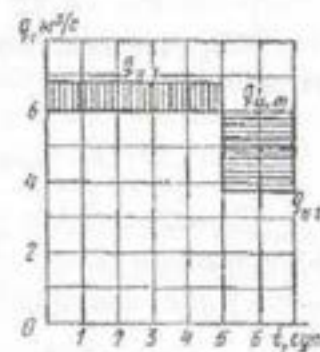


Рис 5.2. Тижневе регулювання стоку.

Добове регулювання стоку найбільш широко використовують для задоволення потреб водопостачання, гідроенергетики, судноплавства і зрошування. При здійсненні добового регулювання пропускну спроможність водозабірної споруди, насосної станції, водогонів (каналів і трубопроводів) розраховують на середню витрату водоспоживання, що дозволяє значно зменшити вартість цих споруд. У разі відсутності добового регулювання ці споруди довелося б добудувати.

Тижневе регулювання здійснюється для забезпечення нерівномірного споживання води, що викликається наявністю двох вихідних днів у тиждень на більшості підприємств.

У зв'язку із пониженням водоспоживання в неробочі дні наявність акумулюючої місткості (водосховища) дозволяє підвищити постачання води у робочі дні тижня.

Якщо добове споживання води в робочі дні постійне, а в неробочі зменшується (рис. 5.2), то при тривалості тижня 7 діб, у числі яких є два вихідні, загальне споживання води (m^3) за тиждень складе:

$$\sum_{i=1}^{i=7} q_n = (5q_{a1} + 2q_{a2})86400 \quad (5.1)$$

Середнє водоспоживання за тиждень можна визначити за такою формулою:

$$q_{m,n} = \sum_{i=1}^{i=7} q_n / 7 = (5q_{a1} + 2q_{a2}) / 7 \quad (5.2)$$

Різниця витрат у неробочі дні рівна нулю. Тоді об'єм водосховища тижневого регулювання (m^3), рівний надлишку стоку у два вихідні дні, становить:

$$V_{week} = 2(q_{m,n} - q_{a2})86400 \quad (5.3)$$

Підставивши значення (5.2) у (5.3), знаходимо необхідний об'єм водосховища тижневого регулювання (m^3):

$$V_{week} = 2(q_{a1} - q_{a2})5n^{-1} \cdot 86400 \quad (5.4)$$

Загальна тривалість одного циклу коливань рівня (наповнення і використання) при цьому виді регулювання – тиждень.

Найчастіше тижневе регулювання стоку застосовують для промислового водопостачання й енергетики, для яких вихідні і святкові дні характеризуються різким скороченням споживання енергії й води. Разом з цим, у навігаційний період в ці дні виникає потреба у додаткових об'ємах води на шлюзування в зв'язку з великою кількістю пасажирських і туристських суден.

Сезонне (або річне) регулювання полягає в нерерозподілі стоку з багатоводних сезонів на маловодні всередніні року. При цьому, водоспоживання кожного року задовольняється стоком цього ж року. Таке регулювання обумовлене внутріньорічною нерівномірністю стоку (рис. 5.3).

Водосховище наповнюється в період найбільшого надходження, яке припадає на весняні і літньо-осінні повені і повноводдя, у періоди межені водосховище спорожняється.

У тому випадку, коли гарантований об'єм водоспоживання рівний забезпеченому об'єму річного стоку, йдеться про повне річне регулювання. Нестача води у маловодні сезони компенсується надлишками води у сезони багатоводні. У багатоводні роки, коли стік більший, ніж об'єм забезпеченого річного стоку, надлишки води скидаються у нижній об'єм водосховища; у маловодні роки, коли стік менший, ніж розраховане водопостачання, виникає дефіцит віддачі (водоспоживання). При неповному річному регулюванні стоку гарантований об'єм віддачі менший ніж річний об'єм стоку розрахованого водозабезпечення. Після наповнення водосховища в цьому випадку надлишки стоку скидаються в нижній об'єм.

6.2.

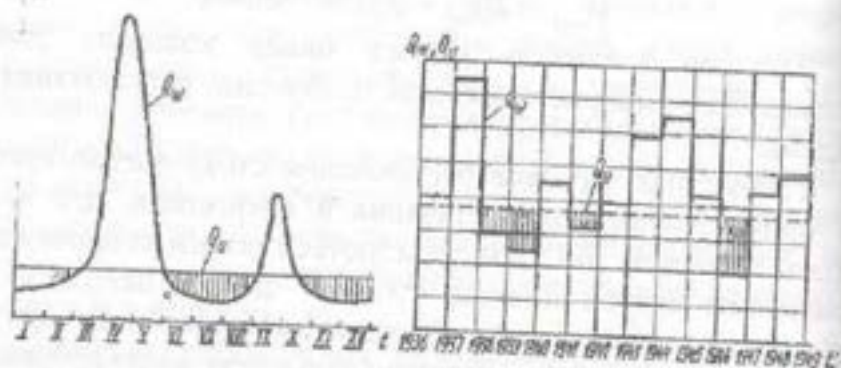


Рис. 5.3. Сезонне регулювання стоку

Рис. 5.4. Багаторічне регулювання стоку

Об'єм водосховища при сезонному регулюванні визначається зіставленням розрахункового стоку внутрішньорічного розподілу споживання.

Сезонне регулювання найбільш поширене і застосовується, практично, для задоволення запитів різних учасників водогосподарського комплексу.

Мета багаторічного регулювання – вирівнювання стоку протягом тривалого багаторічного періоду (рис. 5.4). За допомогою водосховища здійснюють перерозподіл частини стоку з багатоводних років на маловодні. На відміну від сезонного регулювання, в якому цикл роботи (наповнення і водопостачання) здійснюється за один рік, при багаторічному регулюванні цей цикл триває декілька років. Недостача стоку за маловодні роки покривається за рахунок накопичення води у багатоводні роки, що передують маловодним.

Багаторічне регулювання найбільш зручне порівняно з іншими видами регулювання і якнайкраще відповідає завданням комплексного використання водних ресурсів. Цей вид регулювання вимагає набагато більших об'ємів

водосховищ, оскільки він виконує завдання і сезонного, і багаторічного регулювання стоку одночасно.

Існуючий поділ видів регулювання на сезонні або багаторічні відповідно до періоду водопостачання водосховища децю умовний. Усі випадки регулювання стоку можна вважати багаторічними, якщо орієнтуватися на амплітуду коливань стоку, що вкрай рідко спостерігається. У дійсності можливий такий розподіл стоку на постійну витрату водоспоживання у році, при не дуже глибокому сезонному регулюванні, при якому об'єм водосховища не буде повністю спорожнений у межень або не заповниться у період однієї повені, що властиве багаторічному регулюванню. Навпаки, при багаторічному регулюванні, хоч і не дуже глибокому, можливі випадки повного спорожнення водосховища вже за одну маловодну межень із заповненням місткості у найближчу повінь, що властиве сезонному регулюванню.

Висновок про вид регулювання можна зробити лише щодо відомого ходу стоку у конкретний період. З практичною метою критерієм для визначення виду регулювання приймають співвідношення між віддачею і річним стоком розрахункової забезпеченості. Проте рівність вимагає безмежного об'єму водосховища і, практично, при багаторічному регулюванні не перевищує 95% від норми стоку. Методика розрахунків багаторічного регулювання наводиться нижче.

До спеціального виду регулювання відносять короткострокове неперіодичне регулювання стоку, що виконується у тих випадках, коли графік споживання води деякими водоспоживачами не визначений. Таке регулювання здійснюється у вигляді короткострокових неперіодичних скидань води з водосховища для підтримки витрат або рівнів води на розташованій нижче ділянці річки відповідно до вимог водокористувачів. Зокрема, це відноситься до

лісосплаву, судноплавства, рибного господарства, зрошування, задоволення санітарних вимог і т.д.

Скидання води пов'язані з втратою значних об'ємів води і тому не завжди достатньо ефективні. У сучасних умовах прагнуть до повного використання річкового стоку, прагнучи виключити часті скидання води із водосховища, що знижують його економічну ефективність.

Останнім часом отримали розвиток нові види регулювання стоку: каскадне і компенсуюче.

При каскадному регулюванні стоку водосховища розміщують на одній річці послідовно у вигляді ступенів. Прикладом такого виду регулювання є каскад споруд, побудованих на ріках Волга, Дніпро, Об. Умови роботи водосховищ, складових каскаду, відрізняються від умов ізольованих водосховищ і визначаються їх складною взаємодією. При каскадному регулюванні створюються сприятливі умови для повнішого перерозподілу і використання природного стоку на користь водогосподарських комплексів.

При компенсуючому регулюванні водосховища проектують для забезпечення покриття дефіциту стоку із нерегульованої ділянки річки скиданням води з водосховища, розташованого вище, ніж яка-небудь споруда, наприклад, водозабір. У цьому випадку водосховище повинне враховувати нерегульовану проміжну притоку, що впадає в річку нижче ніж водосховище, для отримання необхідного режиму витрат у пункті водозабору.

5.3. Характерні об'єми та рівні водосховища

Об'єм водосховища встановлюють у результаті водогосподарського розрахунку, що визначає прийнятні в проектній практиці складові частини об'єму водосховища – мертвий і корисний об'єми (рис. 5.5).

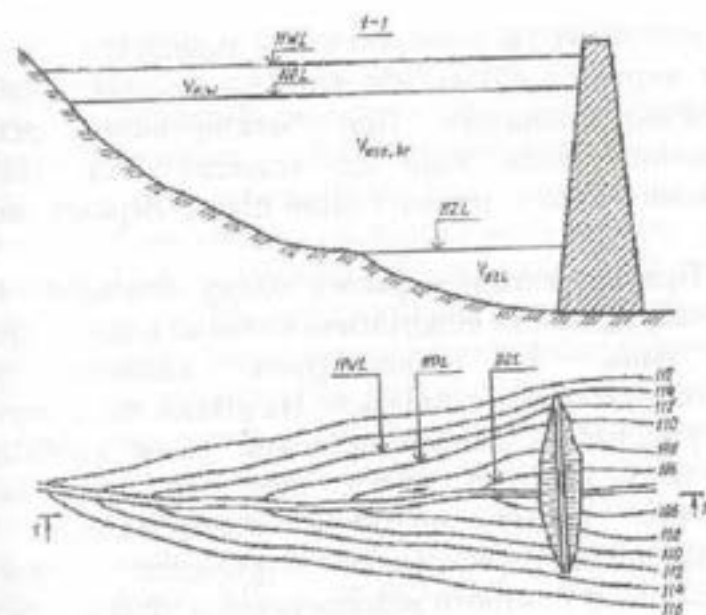


Рис. 5.5. План і схематичний поздовжній профіль водосховища.

Мертвий об'єм $VDZL$ відповідає частині об'єму водосховища, яка для регулювання стоку не використовується і не використовується в нормальних умовах експлуатації. Рівень водної поверхні у водосховищі, що відповідає мертвому об'єму, називають рівнем мертвого об'єму (DZL).

Для обліку умов роботи споруд, що змінюються, в майбутньому (за межами термінів планування) мертвий об'єм часто ділять на дві частини. У виняткових випадках верхня частина мертвого об'єму може бути дещо використана (або спорожнена, що передбачається пристроєм донних водоскидних отворів). Нижня частина мертвого об'єму, обмежена зверху порогом водоскидних отворів, ніколи не використовується і не спорожняється.

Зменшення рівня води у водосховищі до рівня мертвого об'єму пов'язане зі ступенем регулювання і режимом стоку.

При сезонному регулюванні стоку зменшення рівня води до рівня мертвого об'єму або близько до цього відбувається практично, щорічно. При багаторічному регулюванні пониження рівня води до відмітки *DZL* відбувається порівняно рідко – тільки в кінці цілого періоду маловодних років.

При визначенні мертвого об'єму основним чинником, зазвичай, вважають відкладення наносів, а також враховують ряд умов, які відповідають вимогам учасників водогосподарського комплексу. На річках, що транспортують велику кількість наносів, мертвий об'єм необхідний для акумуляції твердого стоку, щоб запобігти зменшенню корисного об'єму протягом розрахункового терміну експлуатації водосховища, тривалість якого для промислового і питного водопостачання приймають від 25 до 50 років.

При енергетичному використанні водотоку рівень *DZL* водосховища визначається допустимим, порівняно невеликим зниженням натиску, при якому забезпечується максимальне вироблення електроенергії; мертвий об'єм при цьому значно перевищує об'єм, потрібний за умовами замулювання.

При транспортному використанні водосховища рівень *DZL* визначають як найнижчий навігаційний рівень, що забезпечує необхідні судноплавні глибини.

У водосховищах комунально-промислового водопостачання і рибного господарства призначення позначки *DZL* пов'язане, перш за все, із забезпеченням санітарно-технічних вимог і необхідної якості води, що забирається із водосховища. Позначка *DZL* повинна забезпечити достатні глибини у водоймі при літніх його рівнях (не менше, ніж 2,5 м), щоб уникнути прогрівання води, заростання водосховища і т.д.

При комунальному і промислового водопостачання, обслуговуванні ТЕС і АЕС призначення позначки *DZL*

визначається умовою нормальної безперебійної роботи водозабірних споруд за мінімальних рівнів води.

При використанні водосховища для самопливного зрошування позначка *DZL* призначається із таким розрахунком, щоб забезпечити при зменшенні води у водосховищі до цієї межі надходження води на поля.

Корисний об'єм (призма регулювання) – це основний об'єм водосховища, що систематично використовується для нерозподілу поступання води у водосховище відповідно до режиму водопостачання. Він розташований над позначкою *DZL* і обмежений зверху нормальним підпірним рівнем *NPL*. Позначка *NPL* є найвищим рівнем, на тривалу постійність якого розраховані підпірні споруди і берегове господарство у нормальних умовах експлуатації гідротехнічних споруд.

При позначці *NPL* у водосховищі розміщується його повний об'єм, який дорівнює сумі корисного і мертвого об'ємів:

$$V_{\text{пов}} = V_{\text{NPL}} = V_{\text{корис}} + V_{\text{DZL}} \quad (5.5)$$

Корисний об'єм водосховища визначають, зіставляючи розрахунковий стік і сумарне водоспоживання із водосховища. Методика визначення його параметрів залежить від призначення водосховища, виду регулювання стоку і наведена нижче.

Стосовно відмітки *NPL*, то її використовують для розрахунку габаритів і розміщення гідротехнічних споруд, які забезпечують роботу водосховища, встановлюють економічні показники регулювання стоку, визначають збитки, що наноситься народному господарству у зв'язку із затопленням земель і споруд, зміною ландшафту і т.д. Вибір остаточної позначки *NPL* визначають техніко-економічним порівнянням різних варіантів позначок *NPL*, на основі якого встановлюють оптимальні розміри водосховища.

У надзвичайних умовах експлуатації гідротехнічних споруд допускається протягом нетривалого часу

переповнювання водосховищ вище, ніж позначка *NPL*, до, так званого, форсованого підпірного рівня *HWL*. Об'єм водосховища, що фіксується між позначками *NPL* і *HWL*, називають форсованим. Його використовують для того, щоб зрівняти розрахунок максимальних витрат води в період повені і повноводдя з метою зменшення габаритів водоскидних споруд. Форсовані рівні пов'язані із максимальними витратами води розрахункової забезпеченості. У звичайній практиці форсовані рівні перевищують позначку *NPL* на 20...70 см. При пропусканні нечастих витрат, розрахункова повторюваність яких у середньому складає 1 раз у 1000 років ($P=0,1\%$) або 1 раз у 10000 років ($P=0,01\%$), форсування досягає висоти 1...3 м. При сході високих вод, що проходять через водосховище, форсована місткість негайно спорожняється. Величина і тривалість форсування рівня у водосховищі повинні бути економічно обґрунтовані, оскільки невиправдане перевищення позначки *NPL* посилює несприятливу дію водосховища на об'єкти народного господарства, що знаходяться в зоні впливу. В результаті збільшуються затоплення і підтоплення території, які завдають додаткових збитків сільському господарству.

Спорудження водосховища приводить до зміни режиму водотоку не тільки вище підпірної споруди, але й у нижньому об'ємі, тому при водогосподарському проектуванні нормують також витрати і рівні води у нижньому об'ємі водосховища.

При пропусканні повені і повноводдя нижче за водосховище обмежують максимальний рівень, щоб запобігти повені. Одночасно у цей період передбачається надходження у нижній об'єм витрат, які забезпечують і підтримують перебіг певного часу затоплення лугов і рибних нерестовищ.

При виробничо-комунальному і зрошувальному водопостачанні у водосховищах підтримують нормовані

мінімальні добові рівні, при яких забезпечуються необхідна кількість води і нормальні умови роботи водозабірних споруд.

При сільськогосподарському, транспортному використанні водосховищ, а також для рибного господарства передбачають згладжування амплітуди і частоти коливання рівня в нижньому об'ємі водосховища обмеженням внутрішньодобових коливань рівня і питомих скидних витрат. Це сприятливо позначається і на зниженні інтенсивності руслових процесів, зміні термічного і льодового режиму нижче греблі.

Основні параметри водосховища і споруд гідровузла повинні бути технічно і економічно обґрунтовані. Водогосподарські розрахунки для встановлення оптимальних розмірів водосховища виконують на основі зіставлення народногосподарського ефекту регулювання стоку з капіталовкладеннями на будівництво гідротехнічних споруд і сучасні заходи (дренаж, обвалування і т. п.), із вартістю інженерної підготовки території, відшкодуванням збитків від затоплення і підтоплення, перенесення і будівництва виробничих об'єктів, житлових будинків, переселенням населення тощо. Разом із специфічними вимогами основного водокористувача повинні бути розглянуті і обґрунтовані можливості комплексного використання і охорони водних ресурсів, соціологічні і екологічні аспекти регулювання стоку, а також можливі зміни водогосподарського режиму і перспективне розширення функцій водосховища.

Режим роботи водосховища означає послідовне використання його запасів, що супроводжується зменшенням рівня води у водосховищі, і поповнення водних запасів, що обумовлює наповнення водосховища. Кожній зміні рівня води у водосховищі H або глибини d відповідає зміна площі водної поверхні Ω і об'єму води V . Криву $\Omega=\Omega(H)$ або $\Omega=\Omega(d)$ називають кривою площ водної поверхні водосховища, криву $V=V(H)$ або $V=V(d)$ – кривою об'ємів водосховища.

Обидві ці криві називають батографічними характеристиками водосховища і наносять, як правило, на один графік (рис. 5.6).

При допущенні горизонтальності рівня води у водосховищі (у цьому випадку позначки горизонталей місцевості зони затоплення співпадають із позначками рівнів води у створі дамби) криву об'ємів $V=V(H)$ називають статичною. Якщо ж об'єм водосховища визначений із урахуванням підпору по кривій вільної поверхні у водосховищі, то її називають динамічною.

Криву площ водосховища одержують на основі обробки великомасштабних (1:10000; 1:25000; 1:50000) топографічних карт при умові горизонтальності водної поверхні водосховища, яка відповідає різним рівням води у ньому. Починаючи від позначки горизонталі, прийнятої за нульову площину, проводять від верху до низу планіметривання площ, що знаходяться між окремими горизонталями і створом греблі. Із підвищенням рівня площі дзеркала збільшуються і крива, побудована в прямокутних координатах (рис. 5.6), яка є ламаною лінією із перегинами у точках, відповідних кроку зміни рівня. Характер перегибів визначають рельєфом затопленої частини річкової долини.

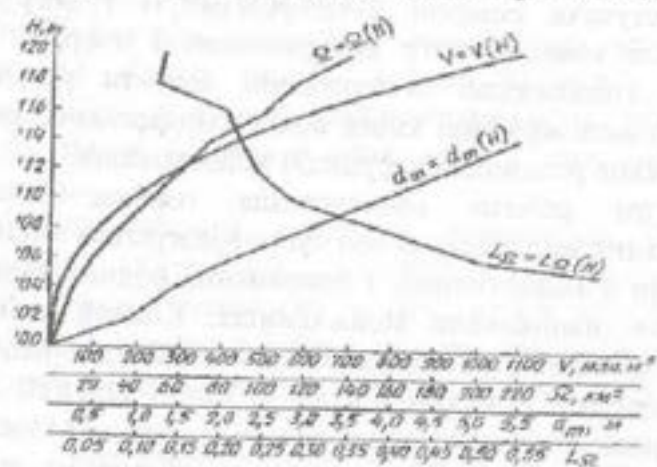


Рис. 5.6. Батографічні характеристики водосховища

Елементарні об'єми води, розміщені між суміжними за висотою горизонталями, знаходять за спрощеною формулою:

$$\Delta V = 0,5(\Omega_i + \Omega_{i+1})\Delta H_{i,i+1}, \quad (5.6)$$

або за формулою зрізаної піраміди:

$$\Delta V = 0,33(\Omega_i + \Omega_{i+1} + \sqrt{\Omega_i \Omega_{i+1}})\Delta H_{i,i+1} \quad (5.7)$$

де Ω_i і Ω_{i+1} – площі поверхні води.

5.4. Розмивання берегів водосховища

Наноси у водосховище надходять не тільки із русловим та схиловим стоком, але і в результаті переформовування берегів водосховища, тобто, в процесі утворення нового берега. При цьому відбувається руйнування одних ділянок берега і продукти руйнування залежно від їх розмірів і маси накопчуються у вигляді акумулятивних форм на інших ділянках берега, або виносяться у глибоководну частину. Основну роль у переформовуванні берегів водосховища відіграють такі гідрологічні чинники:

- хвилі;
 - течії;
 - коливання рівня, як режимні, так і припливів та відпливів;
 - лід;
 - температура та фізико-хімічні властивості води.
- Розмиванню берегів сприяють такі геологічні процеси:
- вивітрювання;
 - обвали;
 - карст;
 - ерозія схилів та ярів.
- Уповільнюють або прискорюють процес розмивання берегів такі чинники:

- склад і міцність гірських порід;
- напрям залягання пластів;
- рельєф нових берегів водосховищ;
- характер і тип рослинності на берегах;

- розміри водосховищ і ін.

Розмивання берегів відбувається двома етапами:

- становлення нових берегів;
- їх стабілізація.

У перший період спостерігається інтенсивне руйнування берегів, формування акумулятивних форм, уповільнення переформування берегів. Найінтенсивніше береги водосховищ руйнуються в перші роки після затоплення водосховищ. Щорічно швидкість відступу берега водосховища складає десятки і сотні метрів. Так, на Каховському водосховищі до кінця четвертого року наповнення загальна ширина зони розмивання берега складала 90...100 м; на водосховищі Дніпрогес за 13 років ширина зони розмивання складала 140...180 м.

Розмивання берегів значною мірою процес дискретний, найбільш активно руйнуються береги під час штормів. Переміщення і перевідкладення продуктів відбувається під впливом хвилювання та вздовж берегових течій, генеруються хвилями. У результаті на водосховищах формуються абразійні та акумулятивні береги (мал. 5.7). Абразійні береги – це утворення із вузькими пляжами в бухтах між мисами і швидким наростанням глибини. Акумулятивні – це пологі береги з широкими піщаними пляжами і глибинами, які повільно наростають. На водосховищах ці форми берегів дуже динамічні й мінливі, оскільки процес їх формування відбувається при частій зміні рівня, іноді дуже значній: на деяких рівнинних водосховищах рівень води під час їх роботи змінюється до 7...8 м і більше. Такий рівневий режим підсилює абразійне руйнування берегів, їх довжину, яка на деяких водосховищах досягає 50...70% і більше від загальної довжини. Так, довжина абразійних ділянок на Каховському водосховищі складає 85%.

Найбільшому розмиванню піддаються береги у нижній частині водосховищ, де площа дзеркала й глибина найбільш

малі, тут розвиваються найбільші хвилі. У цій зоні, як правило, наноси виносяться на глибину, формування пляжів практично рідкісне явище. У середній зоні при роботі водосховища значно зменшується інтенсивність абразії і в результаті у середній зоні стабілізація берегів наступає раніше, ніж у нижній. У верхній зоні абразійності хвиль практично немає, оскільки хвилі мають малі параметри. Значну роль в абразійному руйнуванні берегів водосховищ відіграє господарська діяльність людини, зокрема, різко посилюється розмивання берегів при будівництві всіляких гідротехнічних споруд скерованих перпендикулярно до лінії берега, які перешкоджають потіку наносів вздовж берегів.

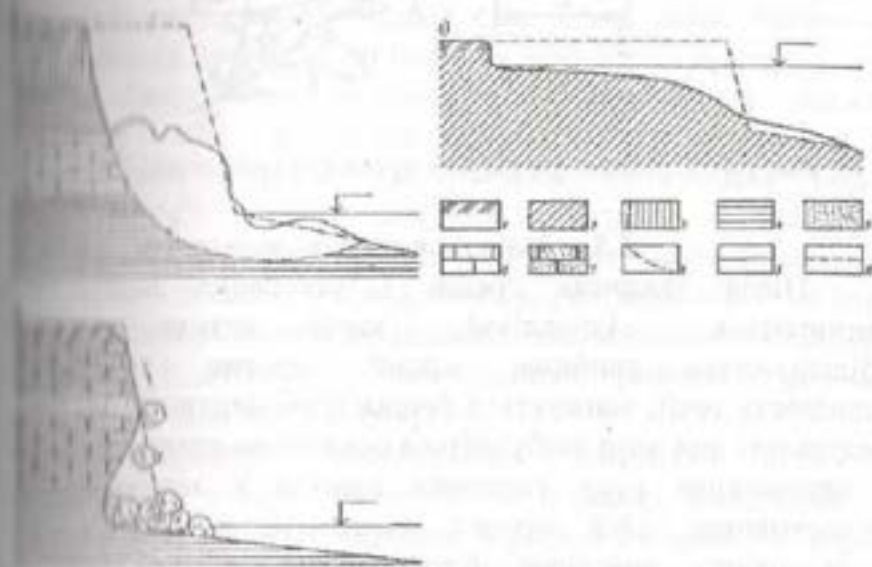


Рис. 5.7. Характер розмивання берегових ухилів:

а – абразійний берег; б – обвальо-осипний берег; в – обвальо-зсувний берег, складений суглинками; 1 – рослинний шар; 2 – суглинок; 3 – глинистий суглинистий; 4 – глина; 5 – пісок; 6 – вапняк; 7 – піщаник; 8 – піщаниста поверхня змивання; 9 – початковий профіль; 10 – профіль після переробки.

зміщуються в бік греблі. У той же час, за рахунок підвищення кривої підпору місце її виклинювання зміщується вгору по річці і відкладення наносів починається вище за течією річки, де спочатку після заповнення водосховища спостерігався транзит наносів при нормальній режимі течії річки.

На річках із малими ухілами місце виклинювання кривої підпору при зміні режиму роботи гідровузла, або водозабору, змінюється у широкому діапазоні і наноси відкладаються на ділянці великої довжини, не створюючи концентрованих відкладень. На річках з великим ухилом навпаки, наноси відкладаються в місці різкої зміни гідравлічних характеристик потоку у вигляді бару. Зважені наноси формують бар, розташований ближче до греблі, доки наноси зупиняються вище за течією і з часом, зміщуючись вниз, перекривають відкладення зважених наносів.

За часом процес замулювання ділиться на три стадії.

- 1) режим замулювання, при якому всі наноси акумулюються у водосховищі і вплив замулювання на транзит наносів не спостерігається; у цій стадії об'єм замулювання наростає в часі лінійно;
- 2) режим замулювання, коли тіло замулювання впливає на транзит наносів; перехід від першої стадії до другої визначається зниженням об'єму водосховища; інтенсивність замулювання знижується в часі за експоненціальним законом;
- 3) режим, коли наноси, що надходять у водосховище, проходять транзитом і скидаються в нижній об'єм замулювання водосховища припиняється. у цьому випадку витрата наносів вище місця виклинювання кривої підпору рівна витраті наносів у створі греблі.

При прогнозуванні процесу замулювання водосховища визначають загальний термін замулювання водосховища, втрати корисної місткості водосховища, положення кривої підпору, характер ходу замулювання, межі зони затоплення у

визначенні замулювання і їх зміну в часі, зміну судноплавних умов і т.д.

При розрахунку замулювання використовують показники, що пов'язують параметри водоймища із характеристиками стоку води і наносів. Показник умовної замулюваності водообміну:

$$T_{cd} = W / \bar{W}_p \quad (5.8)$$

де W – об'єм водосховища при НІР (нижній паводковий, м³);

\bar{W}_p – середній багаторічний річний стік води у водосховищі, м³/год.

Показник умовної замулюваності t_{zc} (роки) визначає тривалість повного замулювання водосховища за умови постійності скидання наносів у нижній об'єм:

$$t_{zc} = (W - W_{rb}) / \bar{W}_r \quad (5.9)$$

де \bar{W}_r – середній багаторічний річний стік наносів у водосховищі;

W_{rb} – об'єм русла в межах водосховища від греблі до виклинювання кривої підпору, що сформувався у тілі замулювання на кінець періоду замулювання ($W_{rb} = L \omega_{rb}$);

L – довжина цього русла із врахуванням звивистості, м;

ω_{rb} – середня площа поперечного перетину русла, м².

Якщо $W_{rb} \ll W$, то

$$t_{zc} = W / \bar{W}_r \quad (5.10)$$

Показник наносотримуючої здатності I_d виражає частку річного стоку наносів, що осідають у водосховищі:

$$\bar{I}_d = (W_r - W_{rd}) / W_r \quad (5.11)$$

де W_{rd} – річне винесення наносів із водосховища.

При розрахунку замулювання водосховища враховують розміщення водосховища, перелік питань, що підлягають

розгляду, природні умови, основні показники водосховища які характеризують процес замулювання (T_{cd}, t_{sc}).

Розрахунок починають із визначення терміну замулювання. Якщо $t_{sc} > 200$ років, то розрахунок терміну замулювання цим і обмежується, вплив замулювання на регулюючу здатність водосховища і положення кривої підпору не враховують. У цьому випадку величину t_{sc} приймають рівною терміну служби водосховища і об'єм наносів, що відклалися у водосховищі за якесь число років t_1 , обчислюють множенням середньорічного стоку наносів – зважених і донних – на число років. Якщо стік донних наносів складає менше, ніж 10% від стоку зважених наносів, то за середній річний стік наносів приймають стік тільки зважених наносів.

При визначенні втрат корисного об'єму водосховища, судноплавних глибин, положення кривої підпору, меж затоплення і підтоплення, потрібне проведення детального розрахунку замулювання на ділянках водосховища із розділенням наносів за фракціями.

При відкладенні наносів у водосховищі в нижній об'єм скидається освітлена вода, каламутність якої менша, ніж каламутність нижче за течією, що веде до розмивання русла річки нижче, ніж розташована підпірна споруда. В результаті розмиву русла знижується положення поверхні води в нижньому об'ємі, що веде до зниження загальної стійкості споруди в результаті зростання тиску, викликає утруднення при заборі води із нижнього об'єму, знижується глибина на колонах шлюзів, але децю зростає вироблення енергії. З часом, в міру замулювання водосховища, транзит наносів підвищується, відбувається відкладення наносів у нижньому об'ємі, якщо каламутність води, що скидається, буде більша, ніж каламутність води нижче за течією, і улоговина розмиву починає заноситися. При значному заборі води із водосховища транспортуюча здатність потоку в нижньому

об'ємі виявляється недостатньою і відбувається підвищення дна проти нормального положення, що спричиняє підвищення позначки поверхні води зі всіма наслідками. Необхідно мати на увазі, що процес відкладення наносів у нижньому об'ємі відбувається особливо інтенсивно, коли здійснюється промивання відстійників водозаборів у верхньому об'ємі зі скиданням води в нижній об'єм.

Питання до п'ятого розділу

1. Які завдання регулювання стоку?
2. Наведіть визначення мертвого об'єму водосховища?
3. Яку величину називають корисним об'ємом водосховища і як його визначають?
4. Наведіть визначення режиму роботи водосховища?
5. Які чинники зумовлюють переформування берегів водосховища?
6. Коли відбувається найінтенсивніше руйнування берегів водосховища?
7. В якій частині водосховища відбувається найбільше розмивання берегів водосховища?
8. Яке джерело наносів, які осідають на дно водосховища?
9. Як впливає замулювання на роботу водосховища?
10. Поясніть джерело замулювання водосховища?

РОЗДІЛ 6.

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ І СТОКУ НАНОСІВ У
ВОДОТОКАХ

6.1. Загальні уявлення про наноси

Річковими наносами називають тверді мінеральні частинки незалежно від величини, які переносяться русловим потоком і за певних умов утворюють руслові і заплавні відкладення. Річкові наноси утворюються, як правило, в результаті *водної ерозії*, тобто руйнування поверхні землі під дією поверхневих вод.

Водна ерозія може бути схиловою і русловою.

Схилова ерозія, – це процес руйнування і змиву продуктів руйнування дощовими і талими водами зі схилів площі басейну. Інтенсивність схилової ерозії залежить від кількості опадів, складу ґрунтів, рельєфу місцевості, густини системи балок і ярів басейну, характеру й кількості рослинності, ступеня та видів господарського використання площі. Частина продуктів руйнування не потрапляє в річку, оскільки затримується в зниженнях земної поверхні, в ярах і суходолах. У південних районах, для яких характерний сухий клімат, бідна рослинність, ґрунти містять менше гумусу, ерозія відбувається активніше, ніж у районах достатнього зволоження.

Ерозія русла полягає в розмиві русловими потоками дна, берегів русла і схилів долини. Інтенсивність цього процесу залежить від енергії потоку води і характеру порід, що складають русло і долину. Енергія руслового потоку визначається витратою і падінням руслового потоку: чим більша витрата води і падіння руслового потоку на одиницю довжини, тим більша його ерозія. Тверді (скельні) породи розмиваються значно слабше, ніж рихлі (пісок, глина, суглинка і т. п.).

На рівнинах водна ерозія проходить значно слабше, ніж у гірській місцевості, за винятком скельних масивів.

Співвідношення між кількістю наносів, що надійшли у річку за рахунок ерозії схилу, і кількістю наносів, що утворилися у результаті роботи самої річки, залежить від фізико-географічних чинників і змінюється за довжиною річки. Частина цих чинників пов'язана з географічними зонами і одержала назву зональних (кліматичні умови, стік, характер і розподіл ґрунтів, рослинності і ін.). Інша частина чинників не пов'язана з географічними зонами, це так звані азональні чинники (рельєф місцевості і геологічна будова).

Дія потоку на русло виявляється в *розмиві* (початкова стадія), перенесенні матеріалів розмиву і їх *відкладення* (*аккумуляція*). У рівнинних річках розмив, звичайно, спостерігається у верхній течії і аккумуляція – в нижній. Потік може розмивати не тільки дно (глибинна ерозія), але й береги русла і долини (бічна ерозія). У результаті русло і береги зміцнюються у плані, що приводить до розширення долини й утворення звивини. Така ерозія особливо інтенсивно відбувається в середній та нижній течії річки.

Продукти руйнування порід та ґрунтів, потрапивши в русло річки, переміщуються потоком вниз за течією.

Залежно від характеру руху твердих частинок (наносів) у потоці розрізняють *зважені наноси* і *наноси дна*. *Зваженими наносами* називають сукупність частинок ґрунту, звичайно найбільш дрібних (частинок мулу, дрібного піску), які, відірвавшись від дна під впливом швидкості течії води, знаходяться в зваженому стані досить довго. Переміщення зважених наносів визначається загальним потоком води. Швидкість переміщення зважених наносів наближається до швидкості течії води тим більше, чим дрібніша частинка. Найбільша концентрація зважених наносів і її найбільші градієнти спостерігаються в придонному шарі завтовшки $(0,1...0,2) d$, де d – глибина води. В основній товщі потоку від $z = 0$ до $z = (0,8...0,9)d$ концентрація зважених наносів і її градієнти значно менші, ніж у придонному шарі.

Донними наносами називають сукупність частинок, за правило, найбільших (великі піщинки, гравій, щебінь), які в процесі руху під впливом потоку води не відриваються від дна або відриваються незначно.

Відповідно до цього, донні наноси можуть бути поділені на такі:

- рухомі, які переміщуються по дну ковзанням і коченням;
- напівзвжені, які переміщуються стрибками (скачуть), піднімаючись над дном на відстань рівну своїм розміром.

Зазвичай, у річковій гідравліці розрізняють наноси рельєфоутворюючі (в основному, донні наноси), і транзитні (найчастіше звжені наноси). Межа між звженими і донними наносами умовна, оскільки при зростаючій швидкості наноси, що переміщалися коченням або ковзанням, при певній швидкості відриваються від дна і переходять у категорію звжених наносів і, навпаки, із зменшенням швидкості частина звжених наносів випадає на дно і продовжує рух як донні наноси.

Найчастіше на масу, що знаходиться на дні і яку обтікає потік води, діють фронтальний тиск, сили інерції, сили тертя об дно, вертикальні гідродинамічні сили, сили градієнта тиску, що розвивається при фільтрації через поверхню дна, складеного наносами, і сили тяжіння. Оскільки деякі із цих сил незначні, то спрощених схемах беруть звичайно до уваги силу фронтального тиску, силу підймання P_{lif} і вагу частинки у воді Q_{par} . Природа сили фронтального тиску пов'язана з обтіканням частинки потоком і при значних швидкостях течії пропорційна квадрату швидкості. Сила підймання спрямована по нормалі до вектора швидкості течії. Її виникнення пов'язане із обтіканням частинки потоком, який має великий градієнт швидкості у межах придонного шару. В результаті різниці швидкостей на

верхній і нижній гранях частинок тиск зверху буде менший, ніж знизу; ця різниця і визначає силу підймання, яка, як і фронтальний тиск, пропорційна квадрату швидкості. Вага частинки наносів у воді визначається різницею в густині частинок ρ_{par} і води ρ_w . Всі ці сили залежать від форми частинок, яка може бути найрізноманітніша. При виведенні формули стійкості частинки приймається її форма у вигляді правильних геометричних фігур. Якщо прийняти частинку у вигляді кулі, то для частинки, яка вільно лежить на дні рівняння рівноваги запишеться так:

$$P_{fr} = (G_{par} - P_{lif})f \quad (6.1)$$

де f - коефіцієнт тертя.

Сили в рівнянні (6.1) можуть бути виражені залежно від придонної швидкості і величини частинок d_{par} :

$$\begin{aligned} P_{fr} &= k\rho_w \frac{\pi d_{par}^2 V_{bet}^2}{4 \cdot 2} \\ P_{lif} &= b\rho_w \frac{\pi d_{par}^2 V_{bet}^2}{4 \cdot 2} \\ G_{par} &= \pi g \frac{d_{par}^3}{6} (\rho_{par} - \rho_w) \end{aligned} \quad (6.2)$$

Підставивши (6.2) у (6.1), після перетворень отримаємо:

$$k\rho_w \frac{V_{bet}^2}{2} = \left[g \frac{d_{par}}{1,5} (\rho_{par} - \rho_w) - b\rho_w \frac{V_{bet}^2}{2} \right] \cdot f \quad (6.3)$$

При малій придонній швидкості частинки знаходяться у спокої, потім із збільшенням швидкості вони починають зрушуватися, коливатися, і, нарешті, втрачаючи стійкість, перекочуються, або ковзають по дну. Швидкість, при якій частинка втрачає стійкість, називають початковою придонною швидкістю руху \bar{V}_{bet} .

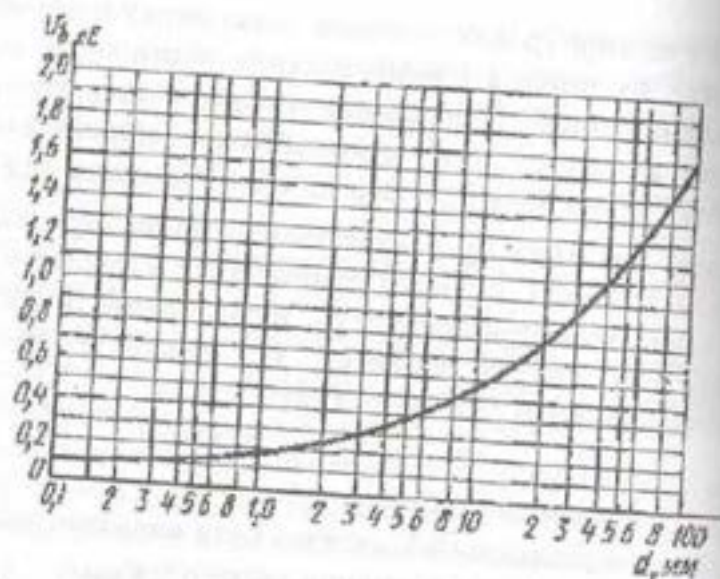


Рис. 6.1. Графік залежності початкової швидкості руху частинок насосів від їх діаметра

Її значення легко отримати із (6.3), якщо прирівняти ліву частину до нуля. Тоді:

$$V_{bel} = k \sqrt{\rho' g d_{par}} \quad (6.4)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від густини частинок наносів, їх розмірів та в'язкості води; $\rho' = (\rho_{par} - \rho_w) / \rho_w$ – відносна вага наносів у воді: для річкових наносів $\rho' = 1,65$ (при густині води $\rho_w = 1000$ кг/м³ і густині частинок $\rho_{par} = 2650$ кг/м³).

Значення V_{bel} можна визначити за рис. 6.1. Із подальшим збільшенням швидкості підіймальна сила зростає настільки, що частинка відривається від дна і переходить із придонного шару у товщу потоку.

Вище придонного шару градієнти швидкості течії різко падають, підіймальна сила зменшується і частинка наносів, потрапляючи у цю зону, знаходиться під впливом двох

сил: вертикальної складової пульсації швидкості V_z' і швидкості осадження частинки у спокійній воді ω , яку замінюють гідравлічною швидкістю, і яка залежить від форми частинки та кінематичної в'язкості води.

За умови $V_z' > \omega$, частинка підіймається вгору; при $V_z' < \omega$ частинка опускається. Частинка знаходиться у стані рівноваги, якщо $V_z' = \omega$.

Ступінь насичення товщі води частинками наносів називається у гідрології каламутністю води (кг/м³), тобто вмістом наносів у одиниці об'єму суміші води із наносами.

Оскільки потік у природних умовах характеризується значною середньою швидкістю довжиною потоку (потік нерівномірний), то частинка, рухаючись униз за течією, буде то підійматися, то опускатися, переміщуючись випадковою лінією. Це пояснюється тим, що, разом із середньою швидкістю, також зменшується пульсація швидкості і частинка при умові, що $\omega_i = const$, опуститься вниз при значному зменшенні пульсації швидкості.

6.2. Визначення витрат зважених наносів

Кількість наносів, які проходять через живий переріз потоку за одиницю часу, називається витратами наносів. Відповідно розрізняють витрати зважених G_{zm} і донних G_{dm} наносів. Розрізняють місцеву каламутність β_m , середню каламутність за вертикаллю $\beta_{m,v}$ і середню каламутність усього потоку $\beta_{m,sp}$. Величина $\beta_{m,sp}$ являє собою відношення витрат зважених наносів R_{zm} до витрат води:

$$\beta_{m,sp} = R_{zm} / Q, \text{ кг/м}^3 \quad (6.5)$$

де R_{zm} – масові витрати зважених наносів, кг/с;
 Q – норма стоку води, м³/с.

Тому масові витрати зважених наносів становлять:

$$R_{z.m.} = \beta_{m.sp} Q \quad (6.6)$$

Отже, для визначення витрат наносів необхідно виміряти норму стоку води і каламутність потоку. Прилади для вимірювання каламутності називаються батометрами.

За принципом дії вони поділяються на батометри миттєвого і тривалого наповнення. Батометри миттєвого наповнення використовуються для дослідження пульсації каламутності при послідовному відборі проб води. Осереднену в часі каламутність визначають батометрами тривалого наповнення. Найбільш сучасний батометр тривалого наповнення – вакуумний батометр, схема якого показана на рис. 6.2.

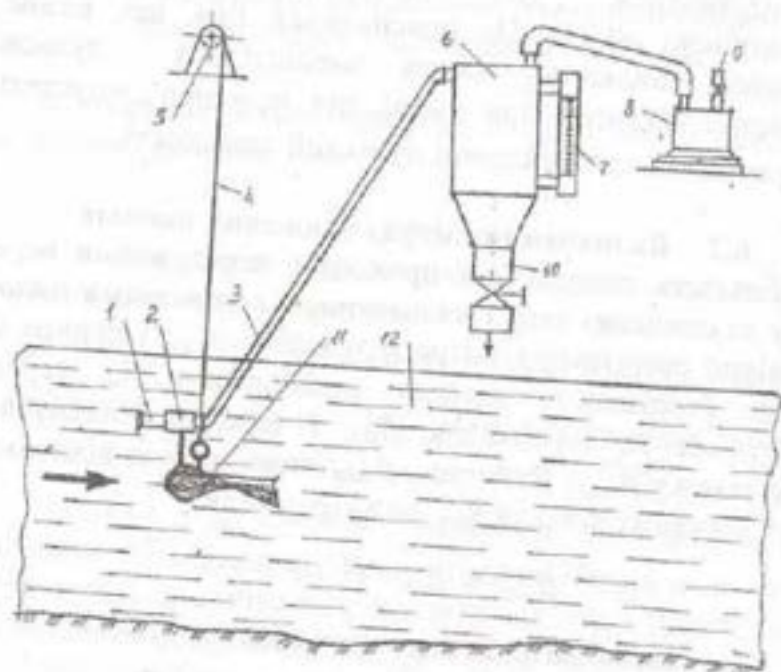


Рис. 6.2. Схема вакуумного батометра

1 – набірний наконечник; 2 – утримувач; 3 – гумовий шланг; 4 – ливка; 5 – пробка; 6 – вакуумна камера; 7 – водомірне скло; 8 – вакуум-насос; 9 – атмосферний клапан; 10 – трубка для випуску води з камери; 11 – гранулометричний апарат; 12 – русло потоку.

Працювати з батометрами можна з човна, понтона, мости, катера, при умові розміщення вакуум-камери на висоті над рівнем води не більше, ніж 4 м. При ширині потоку $B < 20$ м вакуумну камеру із насосом установлюють на березі. Фільтрувати відібрану пробу можна безпосередньо із вакуум-камери. Для цього трубку 10 за допомогою гумової трубки з'єднують із фільтрувальним пристроєм і створюють у камері 6 тиск, який не перевищує 981 гПа.

Прилад для вимірювання каламутності за допомогою світлового випромінювання називається *фотоелектричним каламутноміром*. Його дія базується на зміні електричного струму, який виникає на фотоелементі під дією світлового потоку, що проходить через двофазну систему, що складається із наносів і води. Фотострум, який виникає при цьому, прямо пропорційний каламутності потоку, що фіксується за шкалою приладу, градуйованого в кг/м^3 .

Витрати зважених наносів у гідрометричних створах визначають місцевим, сумарним та інтеграційним способами. Місцевим способом визначають каламутність води на швидкісних вертикалях. При сумарному способі проби води взяті у різних місцях вертикалі потоку, зливають в одну посудину, після чого аналізують. При інтеграційному способі батометр рівномірно переміщують вертикально від поверхні води до дна і в зворотному напрямку. Фільтри із наносами у повітряно-сухому стані висилають у стаціонарну лабораторію, де визначають масу наносів, густину, їх гранулометричний склад. Протягом року вимірюють від 10 до 60 витрат зважених наносів залежно від складності режиму наносів і ступеня їх вивченості в тому чи іншому створі річки або каналу. Більшу частину витрат наносів вимірюють у період повноводдя (повені).

Для розрахунку стоку донних наносів використовують залежність їх від норми стоку (витрат) води у водотоці. Для аналізу норми стоку води необхідно використати середню швидкість течії води, глибину русла, ухил дна водотоку, тому що від них, в основному, залежить транспортування наносів дном русла водотоку, тобто, середню швидкість визначають за такою формулою:

$$V_{\text{сер}} = C \cdot \sqrt{h_{\text{сер}} \cdot i}, \text{ м/с}, \quad (6.7)$$

де C – коефіцієнт Шезі, швидкісний коефіцієнт;
 $h_{\text{сер}}$ – середня глибина потоку, м;
 i – ухил русла водотоку, °.

Витрату води у водотоці розраховують за формулою:

$$Q = V_{\text{сер}} \cdot F, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (6.8)$$

де F – площа перерізу русла водотоку, м².

При вивченні режиму наносів і розчинених речовин вимірюють каламутність, її зміну в просторі і часі, зерновий склад зважених наносів і кількість розчинених речовин.

Одним із методів визначення каламутності є відбір проб води із подальшим фільтруванням і вимірюванням маси сухого осаду на фільтрі. Можна вимірювати миттєві і середні за часом значення каламутності.

Для відбору проб води з метою вимірювання каламутності, вмісту розчинених речовин і т.д. застосовують спеціальні прилади – батометри. При вимірюванні миттєвої каламутності у річках використовують батометр, який має вигляд циліндра із двома покритками на пружинах. Батометр із відкритими покритками опускають у задану точку потоку і встановлюють горизонтально й паралельно до напрямку течії. За командою спостерігача, покритки закривають і батометр витягують із води.

Для визначення середньої каламутності в тому чи іншому місці потоку використовують батометри тривалого наповнення (див. рис.6.2).

Інтеграційний спосіб полягає у тому, що проба води відбирається при рівномірному переміщенні батометра із двома покритками вниз і угору вертикально. При цьому каламутність усереднюється вертикально.

Для вимірювання кількості розчинених у воді речовин у воді відбирають спеціальні проби. У річках, зважаючи на інтенсивне турбулентне перемішування, розчинені речовини розподілені по перетину річки достатньо рівномірно. Тому, проби води беруть тільки з поверхні води. У морях, озерах і водосховищах проби води беруть як із поверхні, так і з різних горизонтів.

6.3. Рух зважених наносів та розрахунок витрат донних наносів

При певних гідравлічних елементах потоку і характеристиках наносів виникає певна рівновага між процесами надходження наносів у потік і їх осадженням. У результаті потік переносить транзитом певну кількість наносів на великі відстані по довжині русла водотоку. Максимальні витрати наносів певного гранулометричного складу, які відповідають умові рівноваги процесів зважування і осадження при даному гідравлічному режимі потоку, називаються транспортуючою здатністю потоку. Чим більша швидкість потоку і чим менший гранулометричний склад наносів, тим більша транспортуюча здатність потоку. Вона зменшується з ростом глибини, оскільки ймовірність підймання частинок на великі висоти у товщині потоку менша. Найбільш суттєвим фактором є швидкість потоку. Для розрахунку витрат донних рухомих наносів використовують формулу Шамова:

$$R_0 = k(V/V_{\text{м.н.}})^3 (V - V_{\text{м.н.}})(d_0/\lambda_{\text{сер}})^{1/4} \cdot B \quad (6.9)$$

де: V – середня швидкість потоку, м/с;
 $V_{т.п.}$ – транспортуюча швидкість потоку, м/с;

$$V_{т.п.} = 3,7d_0^{1/3} h_{ср.}^{1/6} \quad (6.10)$$

d_0 – середній діаметр зважених частинок донних відкладів, м;

$h_{ср.}$ – середня глибина потоку, м;

B – ширина потоку, м.

Коефіцієнт k визначається за такими формулами:

1) однорідні наноси:

$$k = 0,95 \cdot \sqrt{d_0} \quad (6.11)$$

2) неоднорідні наноси

$$k = 1,5 \cdot \sqrt[3]{(1,5 \cdot d_0)^2} \quad (6.12)$$

Формула Єгізарова має такий вигляд:

$$R_s = 24 \cdot Q \cdot \sqrt{i \cdot \left(r \cdot \frac{i}{a \cdot f_0 \cdot d} - 1 \right)} \quad (6.13)$$

де Q – витрати води, м³/с;

i – ухил дна русла, ‰;

r – гідравлічний радіус, м;

a – відносна густина наносів, $a = 1,6$;

f_0 – коефіцієнт опору рухомого русла, визначається за формулою:

$$f_0 = 0,1 \cdot (\lg d/d_0)^2 \quad (6.14)$$

d – діаметр донних відкладень, м;

d_0 – середній діаметр зважених частинок, м.

6.4. Селеві потоки

Селевий потік – особливий вид двофазного потоку, що складається із води і великої кількості твердих матеріалів: піску, глини, каміння, скельних порід, льоду, кущів і чагарників. Основна причина виникнення селевих потоків –

здаття кількість води у гірських басейнах, яка здатна викликати переміщення по схилах гір і рік кам'янистих матеріалів.

Найчастіше селеві потоки утворюються в результаті злив, інтенсивного танення льодовиків та снігового покриву. Якщо ці процеси одночасні, то ймовірність утворення селевих потоків зростає. Можуть виникати селеві потоки і при збільшенні притоку ґрунтових вод біля земної поверхні, яка розташована у зоні кам'янистого матеріалу.

У селевих потоках доля твердої фази складає від 10 до 70% об'єму. Внаслідок цього у нижні частини гірських річок та долин за короткі проміжки часу (від декількох десятків хвилин до декількох годин) надходять десятки і сотні кубічних метрів твердого матеріалу. Великий вміст твердої фази в селевих потоках обумовлюють їх відмінність від водяних потоків і велику руйнівну силу.

За гранулометричним складом розрізняють такі селеві потоки: *водо-кам'яні* (незв'язані); *водо-піщані* (незв'язані); *грязеві* (незв'язані і зв'язані); *грязево-кам'яні* (зв'язаний і незв'язаний тонкодисперсний матеріал у вигляді пилевидних і глинистех частинок); *кам'яно-грязеві* (незв'язані, та зв'язані із твердою фазою кам'янистого матеріалу); *водо-сніго-кам'яні*. Густина селевих потоків знаходиться у межах 1,2 – 1,9 т/м³.

Швидкість руху селевих потоків може досягати до 12 м/с, але частіше знаходиться у межах 2 – 8 м/с. Селеві потоки можуть транспортувати уламки скель діаметром до 4 м і валуни до 10 м діаметром.

Середню швидкість селевого потоку в руслах можна розраховувати за такою формулою:

$$V_c = 1,14 \cdot \sqrt{h_{ср.}} \cdot \sqrt[3]{W_{т.п.}} \quad (6.15)$$

де $h_{ср.}$ – середня глибина потоку, м;

i – ухил водотоку, ‰;

$W_{т.п.}$ – коефіцієнт текучості селевої маси, рівний:

$$W_{\text{тр.}} = 1 - \beta_{\text{т.}}/\beta_{\text{зт.}}$$

де $\beta_{\text{т.}}$ – об'ємна відносна концентрація твердої фази в селевій масі;

$\beta_{\text{зт.}}$ – гранична об'ємна відносна концентрація твердої фази, при якій вона втрачає текучість.

Для грязевих і грязево-кам'яних потоків середня швидкість розраховується за такою формулою:

$$V_c = 3,75 \cdot h_{\text{сеп.}}^{0,5} \cdot i^{0,17}, \quad (6.16)$$

де $h_{\text{сеп.}}$ – середня глибина селевого потоку, м;

i – ухил водотоку, °.

Важливе значення має прогнозування селевих потоків та регіонів можливого їх виникнення. З цією метою розроблений автоматичний радіосповідувач селей.

Питання до шостого розділу:

1. Які витрати називають витратами наносів?
2. Які основні складові батометра?
3. Наведіть рівняння розрахунку стоку донних наносів?
4. Яку величину називають транспортуючою здатністю потоку?
5. Для якого розрахунку використовують формулу Шамова?
6. Який вигляд має формула Єгіазарова?
7. Який потік називається селевим?
8. Якого типу бувають селеві потоки?
9. Як розраховують середню швидкість селевого потоку?
10. Для чого слугують батометри?
11. Як утворюються річкові наноси і що вони являють собою?
12. Як залежить швидкість руху наносів від діаметра їх частинок?

РОЗДІЛ 7.

РІЧКОВИЙ СТІК І ГІДРОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

7.1. Основні характеристики стоку

У процесі колообігу води в природі опади, що випали на Землю, стікають по поверхні Землі і просочуються в товщу ґрунтів. Ці процеси називають поверхневим і підземним стоком.

Поверхневі стоки бувають такі:

схилловий – відбувається по схилах місцевості;

руслловий – що відбувається по руслах річок і тимчасових водотоків.

Річковий стік входить до складу руслового і являє собою переміщення води безпосередньо по річковому руслу. Він визначається об'ємом води, що протікає в певному створі річкового русла за певний період часу. Для кількісної оцінки річкового стоку застосовують такі його характеристики.

Витрата води Q ($\text{м}^3/\text{с}$) – кількість води, що протікає через поперечний переріз потоку за секунду.

Об'єм стоку W (м^3) – кількість води, що протікає через живий переріз потоку за певний період часу T . Об'єм стоку частіше обчислюють за добу або за рік

$$W_d = 86400 \bar{Q},$$

де \bar{Q} – середня витрата, $\text{м}^3/\text{с}$,

86400 – число секунд у добі;

$W_y = 31,56 \cdot 10^6$ – число секунд у році.

Модуль стоку – маса води, що стікає із одиниці площі водозбору за одиницю часу:

$$q_s = Q \cdot \rho \cdot \tau / A \quad (7.1)$$

де A – водозбірна площа, км^2 ;

ρ – густина води, $\text{кг}/\text{м}^3$;

τ – час стоку, с.

Шар стоку – висота шару води, що стікає із водозбору за певний проміжок часу, отримана при рівномірному розподілі об'єму стоку W за всією площею водозбору:

$$h_y = QT / A = W / A \quad (7.2)$$

Величину шару стоку за рік h_y (мм) можна виразити також через середньобаторічний модуль стоку:

$$h_y = \frac{W}{A} = \frac{QT}{A} = q \cdot \frac{31,56 \cdot 10^6 \cdot 10^2}{10^6 \cdot 10^3} = q \cdot 31,56 \quad (7.3)$$

де в чисельнику 10^3 – перерахункове число м у мм, у знаменнику 10^3 – перерахункове число м³ у літри і у знаменнику 10^6 – перерахункове число км² в м².

Коефіцієнт стоку η – відношення висоти шару стоку до висоти шару опадів x які випали на площу водозбору за даний період часу:

$$\eta = h_y / x \quad (7.4)$$

Ця безрозмірна характеристика показує, яка частина опадів витрачається на утворення стоку.

Основними поняттями, якими користуються в гідрології при аналізі і розрахунку стоку, є річний, максимальний і мінімальний стік.

Річним стоком називають кількість води, що стекла із даного басейну за рік. Річний стік у будь-якому створі річки не залишається постійним від року до року: багатоводні групи років чергуються із маловодними, іноді на загальному фоні багатоводдя наголошуються окремі маловодні роки, і навпаки.

Норма стоку – середнє значення річного стоку за багаторічний період, що включає декілька повних (не менше двох) циклів коливань водності річки за незмінних географічних умов і однакового рівня господарської діяльності в басейні річки. Практично за норму гідрологічних характеристик береться середнє значення, визначене за рядом тривалістю 40...60 років. Норма стоку – це основна гідрологічна характеристика, яку використовують при

визначенні інших характеристик стоку, наприклад, річних величин стоку різної забезпеченості, сезонних і місячних величин стоку і т.д. Норма стоку має важливе значення при проектуванні гідротехнічних споруд, водосховищ, систем водопостачання і інших видів водогосподарського будівництва.

Прийнято вважати, що норма стоку – стійка величина, обумовлена стійкістю середньобаторічних опадів і випаровування, тобто, середня арифметична величина стоку, обчислена за достатньо тривалий період спостережень, вважається постійною. Проте це уявлення не зовсім правильне. За геологічними та історичними даними встановлені циклічні коливання кліматичних чинників із тривалістю циклів близько 1800 років.

Окрім циклічних коливань стоку, пов'язаних із циклічними коливаннями кліматичних чинників, зміни стоку викликаються також господарською діяльністю людини.

Норма річного стоку може бути виражена у вигляді середньорічних значень витрати води \bar{Q} (м³/с), об'єму стоку \bar{W} (м³), модуля стоку, шару стоку \bar{h}_y (мм).

Максимальним стоком (високим стоком) називають об'єм або шар стоку за час проходження основної хвилі повені, або за період найбільшого дощового паводку.

Мінімальним стоком (низьким стоком) називають найменший стік річок, що спостерігається у межень (літню або зимову).

7.2. Вплив кліматичних чинників на стік

Стік річок – це складний багатофакторний природний процес, що є функцією фізико-географічних умов басейну і господарської діяльності людини.

Чинники стоку, тобто елементи зовнішнього фізико-географічного середовища, що визначають величину і особливості формування стоку у тому чи іншому басейні,

поділяють на кліматичні чинники і чинники підстилаючої поверхні.

Всі чинники стоку взаємозв'язані і взаємообумовлені, але ступінь їх впливу на стік різний: одні чинники відіграють основну роль у процесі формування річкового стоку, інші — другорядну (рис. 7.1).

Основну роль у формуванні гідрологічних процесів відіграють кліматичні компоненти фізико-географічного ландшафту басейну: атмосферні опади, випаровування, температура й вологість повітря, атмосферний тиск, швидкість і напрям вітру. Відповідно до рівняння водного балансу, найбільш важливими метеорологічними елементами, що визначають стік, є опади і випаровування.

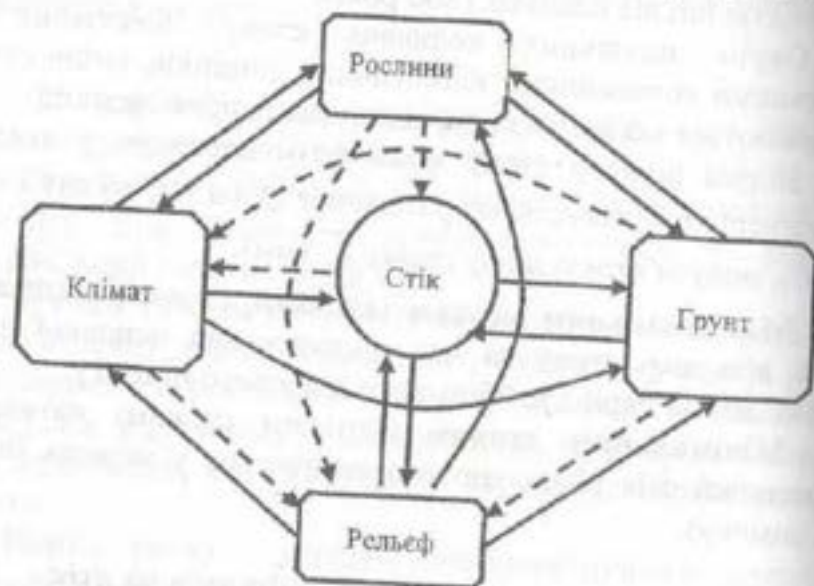


Рис. 7.1. Схема взаємодії стоку річки із основними фізико-географічними факторами

Атмосферні опади — це волога, що випарувалася із поверхні Світового океану та суші. Водяна пара, разом із висхідними струменями повітря, підіймання яких

відбувається внаслідок сильного нагрівання земної поверхні, проходження циклонів і зустрічі з гірськими масивами, відбувається у верхні, холодніші шари тропосфери. При зниженні температури знижується межа насичення повітря водяною паром, тому тут створюються умови для переходу водяної пари у воду (конденсація); тоді відбувається опадання опадів у вигляді дощу, снігу або граду. Водяна пара, що виділяється безпосередньо з повітря у приземному шарі Землі, осідає на поверхні землі, рослин, будівель у вигляді роси, інею і паморозі.

З інженерної точки зору при вивченні опадів представляють інтерес *кількість опадів x і тривалість їх випадання t_x* . Середня кількість атмосферних опадів (мм), що випадає як окремий дощ (снігопад) на водонепроникну горизонтальну поверхню, називають *інтенсивністю (i_x) опадів*. За характером випадання розрізняють *зливи, облогові дощі та мряку*.

Зливи випадають у вигляді дощу, снігу, граду, круп і, нерідко, снігу. Вони утворюються при швидкому підйманні повітряних мас із водяними парами вгору і характеризуються великою інтенсивністю ($i_x > 0,3$ мм/с), порівняно коротким терміном випадання і невеликою площею розповсюдження.

Зливи, що викликають дощові повені на річках, відіграють важливу роль у процесі формування стоку річок. Максимальні витрати дощових повеней досягають великих значень, а на малих річках можуть перевищити максимальні витрати від танення снігу.

Облогові опади, що випадають у вигляді дощу й снігу, утворюються при повільному підйманні теплих повітряних мас. Для них характерні невисока інтенсивність, тривалий період випадання і великі площі розповсюдження. Облогові опади дають великий стік, але максимальні витрати від них менші, ніж від злив, що пояснюється їх розтягнутістю в часі.

Мряка складається з дрібних частинок води або снігу, характеризується дуже повільним випаданням на землю. Як правило, вона дуже слабо позначається на стоці річок.

Розподіл опадів по земній поверхні нерівномірний, пов'язано з багатьма чинниками, найголовнішими із яких є близькість до океанів і морів, характер руху повітряних мас, температура повітря, рельєф місцевості, наявність внутрішніх водойм, рослинного покриву і ін.

Середній шар опадів на земній кулі за рік складає 1130 мм. Різниця у величині шару опадів для різних районів Земної кулі значна; так, у деяких районах Індії річний шар опадів досягає 15 тис. мм, а в пустельних областях Африки він не перевищує 10 мм.

Величина опадів на території України розподіляється відповідно до кліматичних зон. Середній річний шар опадів - 530 мм. Для більшої частини нашої території характерне переважання літніх опадів над зимовими, хоча співвідношення між ними для різних районів може мінятися залежно від гідрометеорологічних умов. Зимовим опадам у вигляді снігу належить помітна роль у гідрологічних процесах як чиннику, що формує режим вод суші в кліматичних умовах нашої країни. Основними характеристиками снігового покриву є тривалість його залягання, висота, щільність снігу, запаси води в снігу.

Тривалість залягання снігового покриву обумовлена кліматичними умовами. Вона змінюється від 3...4 днів у найпівденніших рівнинних районах до 90...120 днів і більше у північних регіонах України. В цілому спостерігається закономірне зменшення числа днів із сніжним покривом з півночі на південь, викликане збільшенням сонячної радіації, і зі сходу на захід, зумовлене пом'якшенням континентальності клімату.

Випаровування з поверхні води визначає ряд чинників: різниця пружності водяної пари, що насичує простір при температурі поверхні води, і пружності водяної пари, що

фактично знаходиться у повітрі, швидкість вітру, температура води і повітря.

Спостереження над випаровуванням із водної поверхні проводиться за допомогою спеціальних приладів (випарників і випарних басейнів) на водовипарних станціях. Одержані на них дані показують залежність випаровування від розміру випаровуваної поверхні. Як еталон в Україні прийнятий випарний басейн площею 20 м² і глибиною 2 м; при таких параметрах конструктивні особливості випарників не робить помітного впливу на їх покази. При використанні випарників з іншими площами поверхні випаровування їх покази приводять до еталону введенням перехідних коефіцієнтів.

При розрахунках випаровування всі водойми ділять на три групи: малі (площею до 5 км²), середні (площею 5...40 км²) і великі (площею більше 40 км²).

Показники випаровуваного басейну площею 20 м² відновідають випаровуванню із малих водосховищ і ставків, для водойм великих розмірів випаровування збільшується на 15...20%. При розрахунках водного балансу різних водних об'єктів і територій, водогосподарських розрахунках при створенні водосховищ необхідно знати середнє значення випаровування за багаторічний період (норму) і його внутрішньорічний розподіл. У практиці інженерних розрахунків для цього використовують карту ізоліній середньобагаторічного випаровування з водної поверхні.

У інженерній гідрології при гідрологічних і водогосподарських розрахунках, гідротехнічному і меліоративному проектуванні використовують методи, ґрунтовані на залежності випаровування від найголовніших метеорологічних чинників. Найбільш простим із них і, разом із тим, найбільш точним є метод водного балансу. Сумарне випаровування знаходиться як різниця між опадами і стоком в рівнянні водного балансу $\bar{z} = \bar{x} - \bar{y}$.

7.3. Вплив чинників поверхні Землі

На загальному фоні дії кліматичних чинників на формування стоку і його величину виявляється вплив некліматичних чинників, який помітно посилюється з зменшенням розмірів басейну і періоду, за який розглядається цей вплив.

До чинників поверхні Землі належать такі: рельєф, ґрунтовий покрив, геологічна будова басейну річки, наявність рослинності, боліт і озер.

Рельєф річкових басейнів визначається сукупністю форм земної поверхні, висотним їх розташуванням, ступенем розчленованості, крутизною схилів, ухилом водних потоків. Вплив рельєфу поверхні водозбору на стік виявляється по-різному. Наявність масивних форм рельєфу сприяє збільшенню швидкості стікання води по поверхні водозбору. В той же час плоский, рівнинний рельєф сприяє збільшенню водоутримуючої здатності басейну. За однакових інших умов фільтрація більша у рівнинних басейнах порівняно з гірськими. У загальному випадку безпосередній вплив рельєфу (ухилів і довжини схилів) на річковий стік відчутний при малих площах водозборів, нівелюючись при їх збільшенні.

Значно більший вплив має рельєф на окремі елементи водного балансу річкових басейнів: опади, інфільтрацію води у ґрунт і випаровування. Особливо яскраво це виражено у горах, де з висотою місцевості збільшується річна сума опадів, знижується температура повітря, що викликає зменшення випаровування і відповідно збільшення стоку.

Вертикальна зональність кліматичних чинників зумовлює вертикальну зональність стоку. Із зростанням висоти зростає частка твердих опадів, що приводить до збільшення стоку.

У річкових басейнах гірських районів рельєф сприяє перерозподілу твердих опадів. У гірських улоговинах,

глибоких ущелинах, біля підніжжя схилів у результаті сходу снігової лавини і переміщення снігового покриву вітром накопичуються великі маси снігу, які при таненні у літній період служать джерелом живлення гірських річок.

На рівнинних територіях вітер також зносить сніг із низинних місць у пониження рельєфу (балки, яри і річкові долини). Танення акумульованих сніжних запасів призводить до збільшення поверхневого стоку в період весняної повені.

У річкових басейнах рівнинних територій посушливих і напівпустинних районів значні площі (20...50% і більше) займають безстічні простори і безстічні озера. Опади, які випали на їх поверхню, повністю витрачаються на випаровування і живлення підземних вод, які залягають нижче за русло і не беруть участі у живленні річок. Розміри безстічних площ скорочуються у багатоводні роки і зростають у маловодні.

Вплив ґрунтового покриву річкового басейну на стік залежить від водопроникних і водоутримуючих властивостей ґрунтів, які визначають процеси фільтрації і випаровування води, що поступає на водозбір у вигляді опадів. При вивченні впливу ґрунтів, перш за все, досліджують фізико-механічні і фізико-хімічні характеристики ґрунтів, їх структуру і характер сільськогосподарської обробки. При відносно високій інфільтраційній і слабкій водоутримуючій здатності велика частина опадів просочується через ґрунти, досягає рівня ґрунтових вод, сприяючи збільшенню їх запасів. У цьому випадку поверхневий стік зменшується, випаровування мале, але внутрішньорічний розподіл стоку буде більш рівномірним у результаті збільшення стоку в меженевий період. При малій інфільтраційній і високій утримуючій здатності ґрунту атмосферні опади, що випали, майже повністю стікають по поверхні, збільшуючи поверхневий стік, але запаси підземних вод у цьому випадку не поповнюються. Із фізико-хімічних властивостей ґрунту

важливу роль відіграє наявність у ньому колоїдів. У верхньому шарі ґрунту, де розвинена коренева система рослин і відбуваються бактеріологічні процеси, частина пор заповнена колоїдами (драглистими речовинами органічного походження), які при поглинанні води набухають, тим самим зменшуючи фільтруючу здатність ґрунтового шару. Структурні ґрунти легко вбирають воду, мають високу водоутримуючу здатність. Безструктурні ґрунти вбирають невелику кількість води, збільшуючи поверхневий стік.

Особливості ґрунтів мають вирішальне значення при формуванні стоку тимчасових водотоків і малих річкових басейнів.

Геологічна будова річкового басейну значно впливає на величину поверхневого стоку і ґрунтового живлення річки, визначаючи умови накопичення і витрачання підземних вод. Найбільш важливими чинниками формування стоку є склад порід, характер їх залягання і глибина водопідпорів. Наявність потужних шарів добре водопроникних рихлих або тріщинуватих порід, що є акумуляторами вологи, обумовлює більш рівномірний стік і збільшення ґрунтового живлення, особливо помітне під час межені. В місцях розповсюдження закарстованих гірських порід поверхневий стік, звичайно, відсутній. Атмосферні опади, поглинені карстовими воронками, і ті, що просочилися в тріщини, істотно збільшують запаси підземних вод, сприяючи зарегульованості стоку.

Безпосередній вплив рослинності на стік порівняно невеликий. Рослинний покрив, збільшуючи шорсткість земної поверхні, створює умови для кращого просочування води у ґрунт.

У значно більшій мірі вплив рослинності, особливо, лісів, виражається у зміні кліматичних чинників стоку: затримання частини атмосферних опадів і збільшення тим самим витрат на випаровування, поглинання вологи із ґрунту і витрачання її у великих кількостях на випаровування,

затінювання ґрунту і зменшення її нагрівання, а тим самим зменшення випаровування із ґрунту, збільшення у лісі норми опадів і т.д. Крім того, рослинний покрив перерозподіляє поверхневий і підземний стік внаслідок підвищеної водопроникності лісових ґрунтів і більшої шорсткості поверхні заліснених водозборів.

Вплив боліт на стік може бути як позитивним, так і негативним. З одного боку, завдяки великому вмісту вологи болото здатне акумулювати значний об'єм води. Але внаслідок малої водовіддачі торфу, а також низького розташування боліт накопичена вода витрачається на випаровування, особливо в теплу пору року.

Наявність озер на території річкових басейнів істотно впливає як на величину річного стоку, так і на розподіл його за сезонами року. Озера є могутніми регуляторами стоку, сприяючи продовженню повені та зменшенню максимальних витрат води в період повені і підвищенню стоку в маловодні сезони року. Регулююча здатність озер залежить від місця їх знаходження, що надає більший регулюючий ефект при розташуванні в нижній течії водотоків.

7.4. Методи досліджень і розрахунків стоку

Гідрологічні розрахунки роблять з метою розробки методів, що дозволяють розрахувати величини різних характеристик гідрологічного режиму водотоків. При цьому, основну групу завдань складають розрахунки стоку води: норми річного стоку, внутрішньорічного розподілу стоку, максимальних витрат повеней і паводків, гідрографів повеней і паводків, мінімальних витрат води. При вивченні гідрологічного режиму водотоків і визначенні розрахункових характеристик стоку використовують такі методи:

- гідрометричний;
- наукових гідрологічних узагальнень;
- лабораторного і математичного моделювання.

Гідрологічною основою розрахунків стоку є дані гідрометричних спостережень, що проводяться на мережі гідрометеорологічних станцій і постів протягом тривалого періоду.

Гідрометричний метод визначення гідрологічних характеристик широко використовують у багатьох країнах і малими територіями, де можливе створення густої мережі спостережень, що охоплюють велику частину водотоків.

Метод наукових гідрологічних узагальнень, при якому використовують матеріали спостережень опорної мережі гідрометеорологічних станцій і експериментальних досліджень регіональних водо-балансових станцій для встановлення закономірностей формування і розподілу стоку по території і його мінливості в часі. Основу методу складає аналіз середовища, в якому формується стік, і аналіз окремих процесів і чинників, що визначають його якісні й кількісні характеристики.

Метод **математичного** (окрім лабораторного) **моделювання** гідрологічних процесів, природний хід яких замінюється розробленою теоретичною моделлю.

7.5. Забезпеченість гідрологічних характеристик

Коливання характеристик стоку не є функцією часу і не має певних закономірностей, тому за наявними даними спостережень та елементами гідрологічного режиму неможливо встановити хронологічний хід стоку на майбутній запланований період. Неможливо визначити, коли спостерігатиметься яке-небудь значення характеристики стоку і скільки разів за цей час ця характеристика стоку перевищуватиме те або інше значення. На сучасному етапі майбутній стік доводиться описувати у вигляді ймовірнісно-кількісної оцінки, що відповідає тій або іншій повторюваності або забезпеченості досліджуваної характеристики.

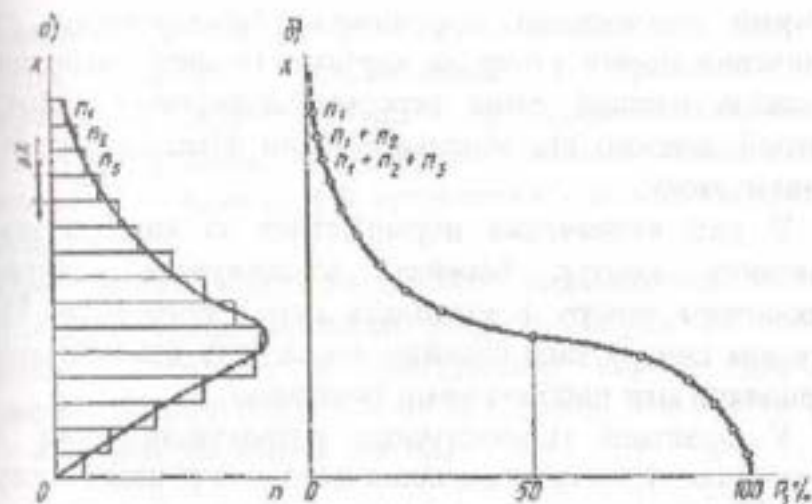


Рис. 7.2. Схема побудови за кривою розподілу ймовірності (а) кривої забезпеченості (б)

Гідрологічна інформація, одержана в результаті гідрометричних вимірювань і спостережень, є деякий часовий, так званий, календарний ряд спостережень, що включає n років. При статистичній обробці гідрологічних інформаційних даних розглядається ряд багаторічних спостережень за будь-якою змінною величиною, наприклад, за середніми річними витратами (річний стік) за період n років.

7.6. Особливості розрахунку річного стоку і його внутрішньорічного розподілу

Основою для визначення розрахункових значень річного стоку води є середньорічні витрати води в досліджуваному створі. За відсутності даних спостережень норму стоку визначають за картами ізолій середнього багаторічного річного стоку річок (л/с), або прямолінійною інтерполяцією норми стоку між опорними пунктами із

відомими значеннями середнього багаторічного стоку. Визначення норми стоку за картами ізоліній засноване на допущенні плавної зміни середньобагаторічного стоку по території залежно від зональної зміни фізико-географічних чинників стоку.

У разі визначення норми стоку за картою ізоліній визначають контур басейну досліджуваної річки до замикаючого створу і знаходять центр його ваги. Норму стоку для центру ваги басейну одержують шляхом лінійної інтерполяції між найближчими ізолініями.

У практиці гідрологічних розрахунків дуже часто виникає необхідність визначення не тільки річного стоку, але й його розподілу у внутрішньорічному інтервалі часу. Внутрішньорічний розподіл стоку залежно від завдань водогосподарського проектування може бути представлений у вигляді хронологічної зміни витрат за місяцями або сезонами, або в порядку зменшення витрат води.

У першому випадку внутрішньорічний розподіл стоку води за наявності даних гідрометричних спостережень за період не менше 15...20 років проводиться або методом компоновання сезонів, або методом характерного реального року.

Метод компоновання сезонів – основний спосіб розрахунку календарного внутрішньорічного розподілу стоку. По методу компоновки розглядаються міжсезонний і внутрішньосезонний розподіли стоку.

Для досліджень і розрахунку міжсезонного розподілу стоку він щороку ділиться на два основні періоди: паводковий (багатоводний) і меженевий (маловодний). Для практичних завдань проектування маловодний період у свою чергу ділиться на два сезони. Всього в році повинно бути не більше трьох сезонів. Період року і сезон, коли природний стік може обмежувати споживання, приймають за лімітуючі, оскільки в цей період року і сезон створюються несприятливі умови роботи водогосподарських підприємств. Так, для річок

і весняною повінню за лімітуючий період беруться два найводні сезони: літньо-осінній і зимовий. При переважному водоспоживанні на сільськогосподарські потреби (зрошування, обводнення) за лімітуючий сезон береться літньо-осінній, для енергетики і водопостачання – зимовий.

При проектуванні відведення надлишкової води з метою боротьби із повенями або при осушенні боліт і заболочених земель за лімітуючий період береться багатоводна частина року (весна і літо-осінь), а за лімітуючий сезон – найбагатоводніший (весна).

7.7. Особливості розрахунку максимального стоку

У загальному випадку максимальним стоком називають процес формування високого стоку в формі весняних повеней або дощових паводків. У гідрологічній практиці це поняття ототожнюють із об'ємом або шаром стоку при основній хвилі повені або при найбільшому дощовому паводку. Часто під максимальним стоком мають на увазі максимальну витрату, що відповідає найбільшій витраті води в період весняної повені або найвищому дощовому паводку (найбільша середня добова витрата і найбільша миттєва витрата води).

Максимальною розрахунковою витратою називають витрату, на пропуск якої розраховують водопропускні і водоскидні отвори гідротехнічних споруд, мостові отвори і т.д. Зниження максимальної розрахункової витрати приводить до переповнення водосховищ і руйнування споруд, що спричиняє значні матеріальні збитки. У разі заселеної місцевості, розташованої нижче за споруду, вибір максимальної розрахункової витрати виходить за межі економічних міркувань і переростає в соціальну проблему, пов'язану з безпекою людей. Завищення розрахункової максимальної витрати підвищує вартість споруди, що знижує її економічну ефективність.

Розрахункова щорічна вірогідність перевищення (забезпеченість) максимальних розрахункових витрат встановлюється нормативними документами, які визначають її залежно від роду споруди, класу капітальності і умов експлуатації.

Всі постійні споруди розділені за капітальністю на чотири класи; I, II, III і IV; для них приймаються відповідно до забезпеченості 0,01, 0,1, 0,5 і 1,0%.

Максимальні витрати розділяють за їх походженням на максимуми, що формуються від сніготанення (з урахуванням можливої складової від дощу), максимуми, що формуються від дощів (з урахуванням можливої складової від сніготанення), максимуми змішані, які розраховують роздільно.

7.8. Особливості розрахунку мінімального стоку

Мінімальний стік формується під час межени, коли внаслідок повного або часткового припинення поверхневого стоку річка переходить на ґрунтове живлення. Розрізняють такі характеристики мінімальних витрат води: добові і середньомісячні, що визначаються окремо для зимового і літньо-осіннього періодів.

Визначення мінімальних витрат води пов'язане із необхідністю забезпечення безперебійного водопостачання, зрошування, обводнення, можливої судноплавства, енергетичного використання річок і т. д. Всі види водогосподарської діяльності (будівництво гідровузлів, створення водосховищ, збільшення потужності водозаборів, водна меліорація земель, водопостачання і водопониження), перш за все, позначаються на величині мінімального стоку. Відомості про мінімальні витрати необхідні як при оцінці природного стоку річок, так і при визначенні ступеня впливу господарської дії на річковий стік.

У будівельному проектуванні водогосподарських споруд *мінімальну розрахункову витрату* визначають

залежно від належності об'єкта до тієї або іншої галузі народного господарства головним чином у діапазоні забезпеченості 75... 97%.

Для визначення мінімальної розрахункової витрати використовують дані спостережень за стоком у зимовий і літньо-осінній періоди. Основними розрахунковими характеристиками мінімального стоку є такі: *мінімальна середньодобова витрата*, *мінімальна середньомісячна витрата* за календарний місяць або за 30 діб із найменшими витратами води. Мінімальну середньомісячну витрату використовують у разі тривалої і стійкої межени (не менше 2 місяців) за умови відсутності протягом цього часу паводків. Якщо межневий період короткий або переривистий (складається із декількох періодів, розділених паводками), то замість середньомісячної витрати води використовують середню витрату за 30 діб (не календарний місяць) із найменшим стоком у цьому сезоні.

Питання до сьомого розділу

1. Яку величину називають шаром стоку?
2. Яку величину називають модулем стоку?
3. Наведіть визначення коефіцієнту стоку.
4. Яка роль структури ґрунтів у стоці вод?
5. Від яких чинників залежить випаровування води з водної поверхні?
6. Як впливають кліматичні чинники на стік?
7. Яку величину називають нормою стоку?
8. Які є атмосферні опади?
9. Які основні характеристики снігового покриву?
10. Яка тривалість залягання снігового покриву?

РОЗДІЛ 8

ПРОЦЕСИ В РУСЛАХ ТА ДЕФОРМАЦІЇ РУСЛА

8.1. Класифікація процесів в руслах

Усі потоки можна поділити на потоки із недеформованим руслом (ріки і канали з укріпленим руслом) і потоки із деформованим руслом (ріки і канали з неукріпленим руслом). Процеси в руслах відносяться до потоків із деформуючим руслом. Процеси в руслах поділяються на незворотні і зворотні. Незворотні процеси в руслах обумовлені однонаправленою зміною водного режиму водотоку. Вони відображають повільний, віковий процес розвитку морфологічних характеристик річки, які відносяться в основному до поздовжнього профілю річки. До зворотних процесів в руслах відносяться сезонні зміни рельєфу дна річки на перекатах, плесах, переміщення піщаних дюн, підмиви і намливи берегів, виникнення проток та їх відмирання. Річки можуть змінювати свою транспортуючу здатність навіть при постійній водності, але при зміні форми живого перерізу за рахунок кількості зважених наносів і відкладень на дні річки.

За динамічну рівновагу русла приймається такий стан, при якому всі деформації русла повністю зворотні, тобто, об'єм деформації русла і витрати твердої фази знаходяться у повній відповідності.

Процеси в руслі мають дискретну структуру, в якій виділяються структурні елементи різних розмірів (рівнів) із притаманними їм закономірностями формування. До структурних рівнів належать такі:

- 1) окремі тверді частинки;
- 2) мікроформи – дрібні піщані гребені;
- 3) мезоформи, тобто, великі рухомі руслові форми (великі гребені);
- 4) макроформи – річкові рукави.

8.2. Типи процесів русла річок

Сукупність процесів, що зумовлюють взаємодію між живим потоком і руслом, називають *процесом русла*. Дії потоку на русло протистоїть зворотна дія русла на потік. У кожен момент часу швидкісне поле потоку визначається формою русла. В умовах русла, що розмивається, там, де швидкості більше розмиваючих, відбувається поглиблення русла і швидкості зменшуються, а там, де швидкості менше розмиваючих, відбувається відкладення наносів, тобто, обміління русла і зростання швидкості. Таким чином, потік деформує русло, яке змінює швидкісну структуру потоку. Процес русла у природних умовах залежить від витрати води і її зміни в часі, витрати наносів і їх величини, а також визначається рельєфом місцевості, структурою кори вивітрювання, розташуванням геологічних пластів, характером і потужністю рослинності. Природний русловий процес може змінюватися під впливом таких видів господарської діяльності:

- будівництва споруд, які виправляють русло;
- мостів, при зведенні гребель і т.п.

Гідротехнічне будівництво приводить до зміни:

- живого перерізу річки;
- водності на окремих ділянках річки;
- перерозподілу внутрішньорічного стоку;
- витрат під час повені і збільшення витрат в період межені;
- шореткості берегів при їх зміцненні або будівництві поздовжніх або поперечних споруд, які виправляють русло.

При цих змінах передбачити можливу поведінка потоку можна тільки в разі достатньої вивченості процесів в руслах. Будівництво гідротехнічних споруд без врахування спрямованості руслового процесу може призвести до небажаних наслідків. Наприклад, річка може відійти від

водозабору, або водозабір, а іноді навіть цілий порт можуть бути засипані великими масами наносів.

Всі деформації русла діляться на зворотні й незворотні. визначальними незалежними чинниками є витрати води і наносів, а також умови, що обмежують вільний розвиток процесів в руслах:

До незворотних (або багаторічних) деформацій русла належать такі:

- його переформовування, коли річка пристосовується до корінних змін у процесі свого вікового розвитку і в результаті господарської діяльності людини;
- розробка поздовжнього профілю річки вигнутої форми, що забезпечує транзит наносів;
- ерозія корінних берегів;
- зсув русла у вигляді меандрування;
- утворення рукавів на заплаві.

До зворотних (або сезонних) деформацій належать такі: намівання і розмивання перекочувань, що спостерігаються при чергуванні межених і повеней; при цьому змінюються висотні позначки; іноді у достатньо широких межах – до 3...4 м і більше; зсув униз за течією плоских гребенів.

Якщо багаторічні деформації русла відбуваються дуже поволі порівняно з сезонними коливаннями, то ними у першому наближенні можна знехтувати і в цьому випадку вважається, що русло знаходиться у динамічній рівновазі.

Тип процесу русла залежить від витрати води. При цьому змінюються такі гідравлічні характеристики потоку:

- швидкість течії, глибина, ухил вільної поверхні, що викликає зміну форм русла;
- структура потоку: по ширині спостерігаються струмені різного масштабу, а зміна турбулентності потоку призводить до формування різних форм русла не тільки за довжиною, але й за шириною річки;
- промиваються рукави – річка міняє свої контури у плані.

Обмежуючими умовами розвитку процесу русла можуть бути такі:

- корінні береги долини, що перешкоджає зсуву річки у плані;
- наявність скельного масиву, який річка змушена огинати;
- вихід скельних ґрунтів на поверхню, що обмежує поглиблення русла.

До обмежуючих умов відносять мінливість гідравлічного режиму, зокрема, наявність окремих струменів у потоці, що перешкоджає розвитку руслових форм по ширині потоку. Зменшення витрати води призводить до уповільнення зсуву ґрунту, розмиву підводної частини, тобто, до припинення активного руху. Мінливість витрати призводить до дискретності, тобто, до перерв у розвитку процесу русла. До обмежуючих умов слід віднести також криволінійність у плані долини і пов'язану із цим вимушену криволінійність русла.

Незважаючи на велику різноманітність процесів русла, гідрологічних характеристик русла і потоку, виявилось можливим звести це різноманіття до певної типізації процесів русла. Результати спостережень у лабораторних і природних умовах дозволили встановити, що деякі типи процесів русла зароджуються і розвиваються незалежно один від одного. Ці процеси названі активними. Інші процеси є подальшим розвитком активних процесів і названі пасивними (рис. 8.1).

До активних процесів русла належать гребеневі руслові форми, які із збільшенням транспортуючої здатності потоку розташовуються в певній послідовності: осередковий, убічний, стрічково-гребеневий (при змиві гребенів) та річки із блукаючим руслом.

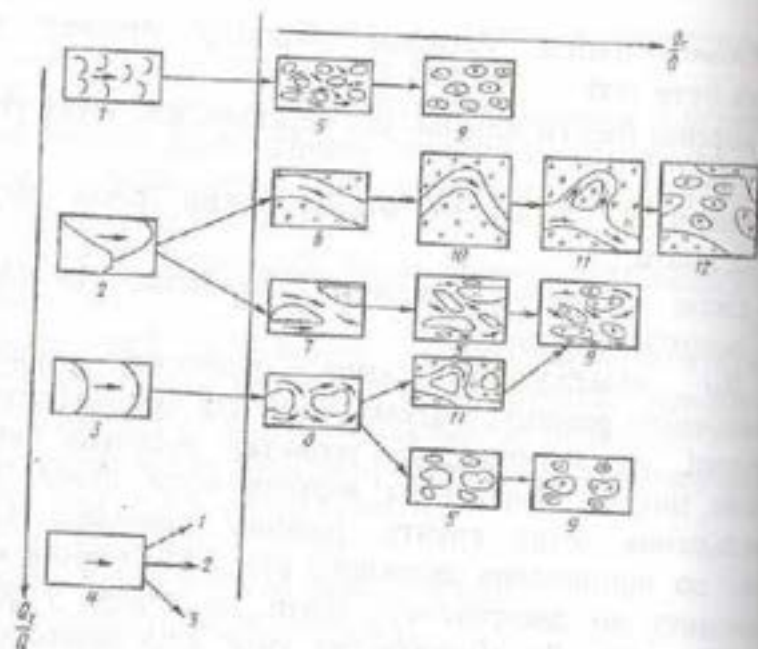


Рис. 8.1. Типізація процесів русла із врахуванням основних діючих факторів і умов переходу одних типів процесів русла у інші

1 – осередковий тип; 2 – узбічний; 3 – плівково-гребеневий; 4 – блужаюча річка; 5 – руслова багаторукавність; 6 – обмежене меандрування; 7 – узбічний тип; 8 – біфуркація; 9 – заплавна багаторукавність, що виникла із руслової; 10 – вільне меандрування; 11 – незавершене меандрування; 12 – заводи багаторукавність.

В останньому випадку після гладкої фази та фази антигребенів річка займає нове положення і у її руслі знову починають розвиватись процеси у вказаній послідовності. Розвиток осередкового процесу призводить до формування багаторукавності (рис. 8.1, поз. 5, 9). При розвитку узбічного процесу формується або безпосередньо багаторукавність (7, 5, 9), або меандрування із наступною багаторукавністю (6, 10, 11, 12). Стрічково-гребеневий

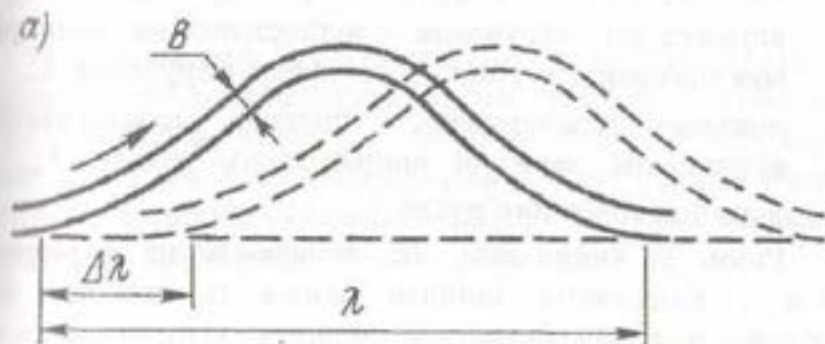
процес переходить у дворукавність (біфуркацію 8) із подальшим переходом до меандрування (11), та багаторукавності (9), або безпосередньо до багаторукавності.

Меандром (або закрученням) річки називають вигин її русла. Розрізняють вимушений вигин русла річки, який виникає якусь перешкоду, і вільний вигин, або меандруюче закручення.

Меандрування річки, тобто зсув закручення річки у плані, є найбільш поширений русловий процес для малих і середніх річок, що мають заплаву. Розрізняють обмежене, вільне і незавершене меандрування. Обмежене меандрування спостерігається при вузькій заплаві, коли зсув річки обмежений бортами долини.

Річка має синусоїдальну форму, достатньо стабільну у часі, що зміщується паралельно сама собі (рис. 8.2, а). Вільне меандрування розвивається на річках із широкою заплавою; закручення розвиваються від слабо зігнутих до петлеподібних (рис. 8.2, б).

Розвиток закручень закінчується проливом перешийка, відділенням вигину річки з утворенням стариці. При незавершеному меандруванні пролив перешийка відбувається раніше утворення петлі; ця протока перетворюється в головне русло, а старе русло відмирає (рис. 8.2, в).



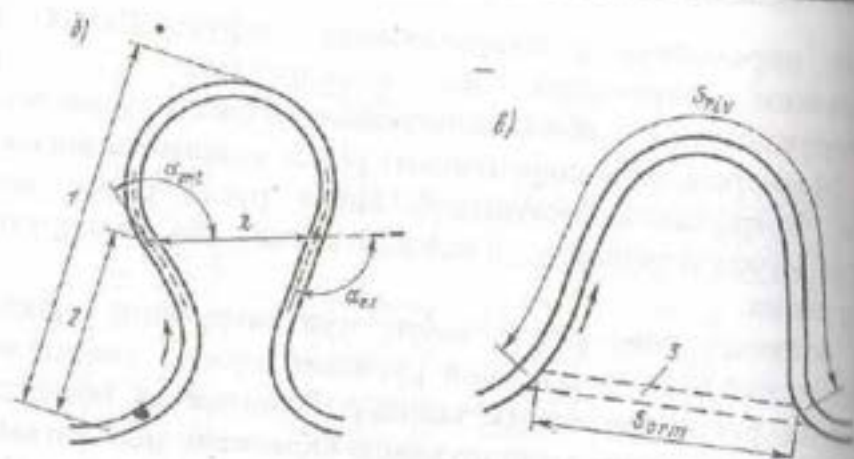


Рис. 8.2. Типи меандрування.
 а – обмежене; б – вільне; в – незавершене;
 1 – звивина; 2 – вигин; 3 – протока

Елементи закручення:

- крок закручення λ – відстань між точками перегину русла;
 - відносний крок закручення λ/B , де B – ширина річки;
 - швидкість сповзання закручення $C_m = \Delta\lambda/T$, де T – час спостереження;
 - кут розвороту $\alpha = \alpha_{ent} + \alpha_{ex}$, де α_{ent} – кут входу і α_{ex} – кут виходу (рис.8.2, б);
 - кут спряження закручення $\beta = \alpha_{ex} - \alpha_{ent}$, показник вираженості закручення – відношення довжини річки між точками перегину S_{riv} до кроку закручення λ ;
 - показник незавершеності процесу меандрування – відношення довжини випрямленого рукава S_{arm} до довжини головного русла S_{riv} .
- Разом із чинниками, які впливають на формування русла і дозволяють оцінити явища із якісного боку, розглядаються руслоформуючі умови, до яких належать такі

втрата води, ширина потоку, середня величина наносів d_m і швидкість течії V .

Певна схема деформації русла і заводі річки, яка виникає в результаті співпадання особливостей водного режиму і стоку наносів, обумовлюють тип руслового процесу. Розрізняють такі типи процесу русла річок:

Стрічкогребеневий. У руслі проходить рух системи гребенів, викривлених у плані під дією придонних неоднорідностей, див. рис.8.3. Відстань між гребенями (крок гребенів) значно більша, ніж ширина русла, яке має невелику звивистість. Рух гребенів проходить, в основному, при підвищеній водності.

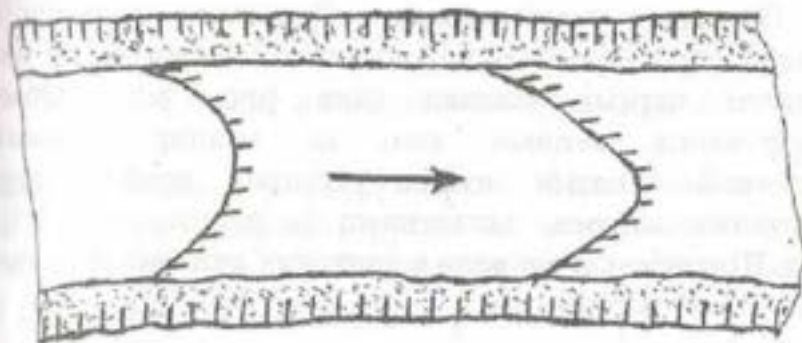


Рис. 8.3. Стрічкогребеневий тип процесу русла

Узбічний тип. Гребені перекошені, напрямки перекосів суміжних гребенів чергуються, див. рис.8.4. У меженовий період підвищені частини гребенів оголюються біля берегів річки, внаслідок чого утворюються узбіччя (піщані мілини), розміщені в шаховому порядку. Це сприяє утворенню звивин меженового русла річки.

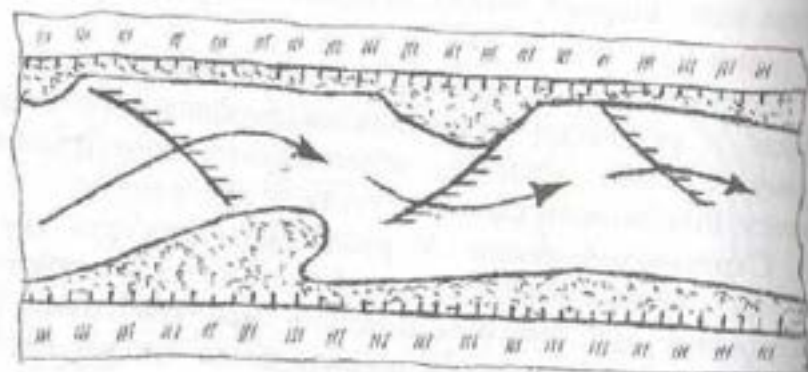


Рис. 8.4. Узбічний тип процесу русла річки

Обмежене меандрування. Для цього типу руслового процесу характерна порівняно слабка звивистість; можуть виникати окремі заплави (див. рис. 8.5). Обмежене меандрування виникає там, де меандр (підмивання) обмежений схилами долин, уступами древніх терас і береговими валами, складеними із нерозмивних гірських порід. Швидкість руху води у звивинах дуже мала і становить близько 5-15 м/годину.

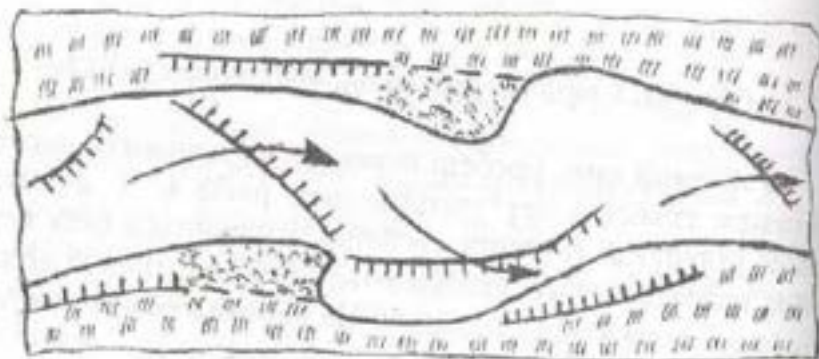


Рис. 8.5. Обмежене меандрування процесу русла

Вільне меандрування. Русло річки значно меандрує в широких заплавах зі старими руслами (див. рис. 8.6). Після зриву перешийка між суміжними звивинами виночинається утворення нової звивини.

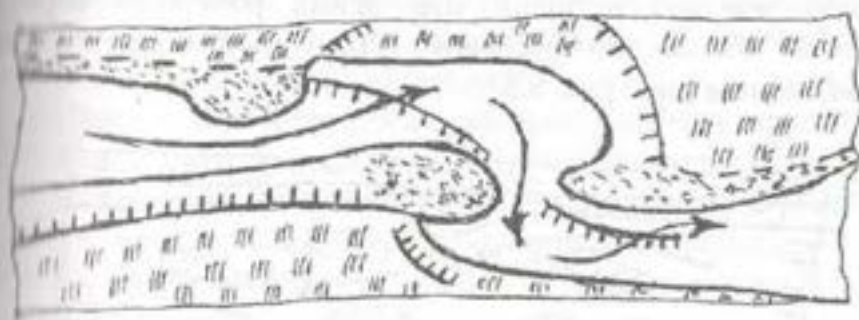


Рис. 8.6. Вільне меандрування процесу русла

Незавершене меандрування. При цьому типі руслового процесу звивина русла ще не перейшла у стан петлі, а спрямовуюча протока, пропускає ще значну частину витрат води (див. рис. 8.7).

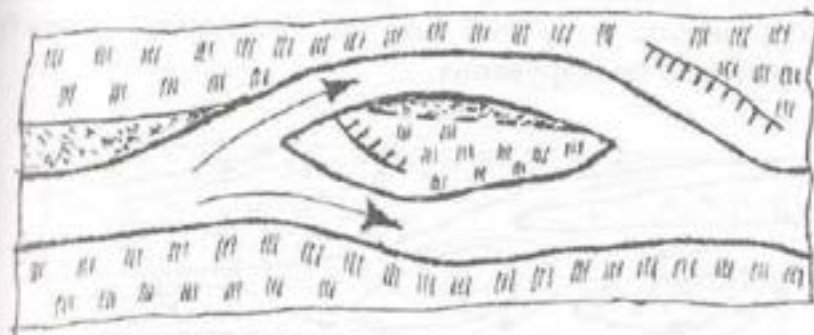


Рис. 8.7. Схема незавершеного меандрування процесу русла

Руслова багаторукавність. Цей тип процесу русла виникає при великих витратах донних наносів. Поява рукавів супроводжується утворенням широко розпростертого русла, в якому донні наноси переміщуються у вигляді системи великих розрізнених гребенів, котрі утворюють під час межені невеликі островці, між якими розміщені короткі протоки. Такий тип руслового процесу називають також осередковим (див. рис. 8.8).

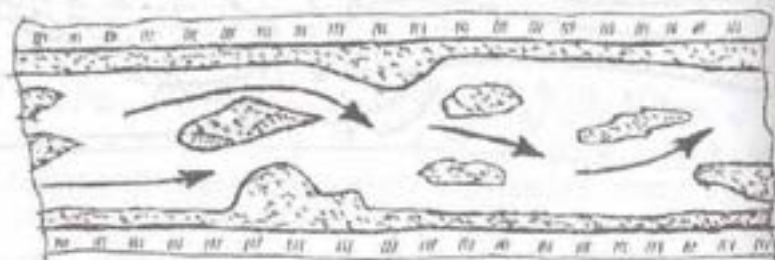


Рис. 8.8. Схема руслової багаторукавності

Забодева багаторукавність. Цей тип процесу русла виникає у широких заводях (див. рис. 8.9) і характеризується наявністю багатьох рукавів, які можуть розглядатися як самостійні річки, якщо їх довжина велика. Заплавна багаторукавність є, у той же час, наступним розвитком незавершеного меандрування.

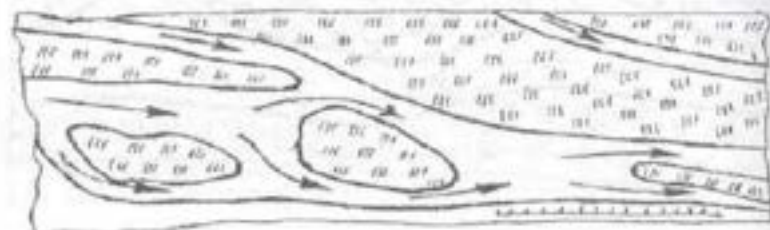


Рис. 8.9. Схема заплавної багаторукавності

Питання до восьмого розділу:

1. Якого типу бувають руслові процесу?
2. Яку величину називають динамічною рівновагою русла?
3. Як виглядає схема стрічкогребеневого типу русла?
4. Наведіть схему узбічного типу руслового процесу.
5. Як виглядають схеми обмеженого, вільного і незавершеного меандрування?
6. Наведіть схеми руслової і забодевої багаторукавності.
7. Який процес називають меандруванням русла річки?
8. Які чинники впливають на меандрування русла річки?
9. Як можна запобігти меандруванню русла річки?
10. Які причини виникнення заплавної багаторукавності?

РОЗДІЛ 9. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ

9.1. Визначення і класифікація гідротехнічних споруд для водопостачання і водовідведення

Для використання водних ресурсів зводять спеціальні гідротехнічні споруди із відповідним механічним устаткуванням. У галузі водопостачання і водовідведення основними питаннями є такі:

- оптимальне використання існуючих джерел водопостачання;
- зміна при необхідності природного водного режиму водотоків;
- створення штучних запасів води і прокладання нових водотоків;
- очищення стоків, захист навколишнього середовища від можливих негативних наслідків гідротехнічного будівництва і експлуатації промислових підприємств, зокрема, від забруднення стічними водами річок і водойм.

Для вирішення цих питань будують комплекси гідротехнічних споруд – гідровузла.

Відповідно до призначення розрізняють такі їх види:

- енергетичні;
- водозабірні і водосховищні гідровузла.

За наявності у складі гідровузла водонідірних споруд гідровузла називають напірним, при їх відсутності – безнапірним. Зараз крупні гідровузла у більшості випадків будують комплексними, тобто вони задовольняють вимоги декількох галузей народного господарства.

До складу гідровузла, окрім гідротехнічних, входять і негідротехнічні споруди, необхідні для нормального його функціонування.

Гідротехнічні споруди, звичайно, класифікують за основними ознаками – категорією надійності (терміном служби і капітальності) і цільовим призначенням, а потім детальніше – за специфічними ознаками, наприклад, за їх конструкцією, місцем розташування і т.п.

За термінами служби гідротехнічні споруди ділять на постійні і тимчасові. Постійні гідротехнічні споруди з необмеженим терміном експлуатації поділяють на основні й другорядні. До основних відносять такі споруди, перебої в роботі яких призводять до повного припинення або зменшення відбору і подавання води споживачеві, зменшення вироблення продукції промисловим підприємством, та очищення стоків, можуть виникати підтоплення території, забруднення навколишнього середовища та інші небажані наслідки. Відмови в роботі другорядних гідротехнічних споруд позначаються значно менше на роботі міських, промислових систем водопостачання і водовідведення, промислових комплексів і систем зрошувального землеробства.

Основними гідротехнічними спорудами і будовами є такі: греблі, водозабірні споруди, судноплавні, магістральні і зрошувальні канали, водоскидні споруди, тунелі, трубопроводи, колектори, різні типи басейнів, резервуарів і місткостей, накопичувачі відходів промислових виробництв, споруди, будівлі гідроелектростанцій, шлюзи, суднопідіймачі і причали, насосні станції, що охолоджують пристрої в системах зворотного водопостачання, рибопропускні та рибозагороджувальні споруди.

Другорядними гідротехнічними спорудами є тимчасові причали, перемички, відвідні канали, ремонтні з'єднання і ін.

Постійні гідротехнічні споруди поділяють на чотири класи. При виборі класу гідротехнічної споруди беруть до

уваги наявність у зоні можливого затоплення населених пунктів, промислових підприємств і транспортних магістралей, висоту споруди, геологічну будову ґрунтів основи та інші чинники.

Клас гребель встановлюють відповідно до табл. 9.1.

Залежно від наслідків порушення експлуатації споруди поділяють на чотири класи (див. табл. 9.1 і 9.2).

Клас гідротехнічних споруд залежно від умов їх будівництва, наслідків від перерв у роботі та аварій, категорії водокористувачів може бути підвищений на одиницю. Клас гідротехнічних споруд може бути знижений на одиницю при обмеженому до 10 років терміні служби споруд, можливості їх ремонту без порушення режиму.

Клас другорядних гідротехнічних споруд приймають на одиницю менше, ніж клас основних гідротехнічних споруд.

Таблиця 9.1.

Класи водопідірних гідротехнічних споруд залежно від їх висоти, типу основи і наслідків аварій

Водопідірні споруди	Ґрунти основи	Висота споруди, м, яка визначає клас			
		I	II	III	IV
Греблі з ґрунтових матеріалів	Скельні, піщані	>100	70...100	25...70	<25
	Глинисті, в твердому та напівтвердому стані	>75	35...75	15...35	<15
	Глинисті водонасичені в пластичному стані	>50	25...50	15...25	<15

Греблі бетонні та залізобетонні, підводні конструкції будівель гідроелектростанцій, судноплавні шлюзи, суднопідйомні споруди, підпірні стінки та інші бетонні споруди	Скельні	>100	60...100	25...60	<25
	Піщані, глинисті в твердому та напівтвердому стані	>50	25...50	10...25	<10
	Глинисті, водонасичені в пластичному стані	>25	20...25	10...20	<10

Категорію надійності подавання води у централізовані системи водопостачання встановлюють відповідно до вимог ДБН 2.04.02-94 "Водопостачання. Зовнішні мережі і споруди".

Відповідно до класу гідротехнічної споруди або категорії системи водопостачання виробляють обґрунтування будівництва, визначають об'єми досліджень, вибирають тип і конструкцію споруди, її проектування, встановлюють забезпеченість розрахункових витрат і рівнів води, приймають коефіцієнти перевантаження умов роботи при розрахунку споруд за граничними станами, підбирають за виглядом і якістю будівельні матеріали.

Гідротехнічні споруди, які входять до складу комплексу споруд усіх галузей народного господарства, називають загальними. Гідротехнічні споруди, які використовують тільки в системі окремих або декількох галузей, називають спеціальними.

Загальні гідротехнічні споруди ділять за призначенням на такі:

- водонапірні;
 - берегозахисні;
 - регуляційні або виправні споруди (кріплення берегів, дна і відкосів водотоків та водойм, набережні, хвилеломні, поздовжні і поперечні греблі, напівзапрудні запрудні і пороги);
 - такі, що підводять воду (канали, тунелі, дюкери, акведуки, трубопроводи, лотки, сифони і тому подібні споруди);
 - водоскидні;
 - водопропускні споруди.
- Спеціальні гідротехнічні споруди ділять на такі:
- водного транспорту (шлюзи, суднопідіймачі, причали, захисні споруди, доки, сліпи, елінги і маяки);
 - лісосплавні (плотоходи, колодоспуски, лотки для транспорту лісу, бои та ін.);
 - споруди використання водної енергії (гідростанції, гідроакumuлюючі станції, напірні басейни, зрівнювальні вежі та ін.);
 - споруди меліоративних систем (шлюзи-регулятори, водовипуски, вододільники, зливопроводи, перепади, швидкотоки і ін.);
 - споруди рибного господарства (рибоходи, рибопідіймачі, рибозагороджувачі, ставки, басейни і ін.);
 - споруди водопостачання і водовідведення (водозабірні споруди, насосні станції, очисні споруди, регулюючі басейни, накопичувачі відходів промислових виробництв, водовипуски і ін.).
- Обов'язковою спорудою будь-якого гідровузла є гребля, що перегороджує русло річки і створює різницю рівнів води перед спорудою і за нею. Цю різницю рівнів називають *натиском* на греблю.

Таблиця 9.2.

Класи об'єктів гідротехнічного будівництва залежно від наслідків порушень їх експлуатації

Об'єкти гідротехнічного будівництва	Клас споруд	
	основні	другорядні
Гідротехнічні споруди: гідравлічних, гідроакumuлюючих та теплових електростанцій потужністю, млн. кВт:		
>1,5	I	III
<1,5	II—IV	III—IV
атомних електростанцій потужністю, тис. кВт:		
>500	I	III
101 ...499	II	III
<100	III	IV
На внутрішніх водних шляхах: надмагістральних	II	III
магістральних та місцевого значення	III	IV
місцевого значення на малих ріках	IV	IV
Споруди річкових портів з навігаційним вантажооборотом, тис. ум. т:		
>3000	II	III
151 ...3000	III	IV
<150	IV	IV
Річкові гідровузли та магістральні канали:		
зрошувальних систем при площі зрошення	II	III
>400 тис. га		
Меліоративних систем при площі зрошення або осушення, тис. га:		
51 ... 400	III	IV
≤50	IV	IV

Верхнім об'ємом називають акваторію перед греблею вище за течією, *нижнім об'ємом* – водотік за греблею нижче за течією.

Ухил греблі з боку верхнього об'єму називають напірною гранню, ухил із боку нижнього об'єму – низовою гранню, верх греблі – гребенем, підставу греблі – підшовою. Часто до гребель відносять також пороги і запруды.

Пороги – це стінки заввишки до 1,5 м у руслі річки, заглиблені в ґрунт дна, що розмивається. *Запруды* – невеликі греблі висотою від 1,5 до 3 м. Поздовжні греблі – це значні за довжиною земляні споруди, що зводяться з метою регулювання русел річки, захисту території від затоплення, обгородження каналів, створення понеловідвали, шламосховищ і т.д.

Греблі будують для підйому рівня води в річці або створення запасу води у водосховищі для населених пунктів і різних галузей народного господарства; їх відповідно поділяють на дві основні групи: водопідіймальні (або руслові) і водосховищні.

За висотою греблі поділяють на низькі, середньої висоти, високі і надвисокі. Земляні греблі вважаються низькими із натиском до 15 м, середньої висоти – із натиском від 15 до 50 м і високі – із натиском більше ніж 50 м. Кам'яно-земляні і кам'яні греблі вважаються низькими із натиском до 20 м, середньої висоти – із натиском від 20 до 70 м, високими – із натиском від 70 до 150 м і надвисокими – із натиском більше, ніж 150 м. Що стосується бетонних і залізобетонних гребель, то на нескельних підшвах їх зводять заввишки до 45 м, а на скельних підшвах – заввишки до 300 м і більше. Відповідно до такої класифікації гребель, за висотою класифікуються і гідровузли: низьконапірні – із натиском до 10 м, середньонапірні – із натиском від 10 до 40 м і високонапірні – із натиском понад 40 м. Для водопостачання, в основному, будують греблі низького і середнього напору.

Клас основних гідротехнічних споруд водопостачання відповідно до вимог ДБН 2.04.02-94 встановлюють з урахуванням його категорії. Клас другорядних споруд приймають на одиницю менше.

За способом пропускання води греблі поділяють на глухі і водозливні. У глухих греблях не передбачають пристроїв для скидання води в нижній об'єм. У водопропускних (водозливних) греблях воду скидають у нижній об'єм через гребінь або поверхневі (водозливні) отвори, а також через водоспускові отвори, заглиблені під рівень води, зокрема, розташовані біля дна (донні отвори). За матеріалами, із яких їх зводять, греблі поділяють на ґрунтові (земляні, кам'яно-земляні, кам'яні), бетонні, залізобетонні, дерев'яні, металеві, тканинні і комбіновані. Тараз найбільшого поширення набули греблі ґрунтові, бетонні й залізобетонні.

За умовами пропуску будівельних і експлуатаційних витрат води ґрунтові греблі поділяють на глухі, фільтруючі і переливні.

Глухими називають греблі, витрата, фільтрація, через тіло яких дуже мала порівняно з будівельною або експлуатаційною витратою. Пропуск цих витрат здійснюють через водоскиди у берегах або тілі греблі.

Фільтруючими називають греблі, витрату фільтрації яких через тіло греблі порівнюють із витратами, що скидаються через водозливні отвори. Ці греблі, зазвичай, будують із каменю без спеціальних пристроїв проти фільтрації.

Переливними називають греблі, у яких будівельна і експлуатаційна витрати пропускаються в нижній об'єм через безнапірні водоскидні споруди, що проходять по гребеню і відкосах греблі.

Земляні греблі за способом виконання робіт поділяють на насипні, наливні і напівналивні (рис. 9.1 і 9.2).

Насипні греблі будують відсипанням землі шарами по 10...25 см із подальшим ретельним ущільненням кожного шару. Будівництво наливної греблі здійснюється подаванням ґрунту з кар'єру до місця укладання в суміші з водою у вигляді пульпи. Наливні греблі зводять із однорідних ґрунтів без внутрішнього ядра із неоднорідних ґрунтів, у яких водонепроникне ядро створюється із найбільш дрібних частинок, переміщуваних потоком води в середню частину греблі. У напівналивних греблях засобами гідромеханізації укладають центральну частину (ядро), решту частин греблі зводять сухим способом.

За конструкцією земляні греблі ділять на греблі із однорідних матеріалів, таких, як суглинок, супісок, пісок (рис. 9.1, а), греблі з екраном, розташованим по верхньому напірному відкосі і виконувани, зазвичай, із суглинку, глини або торфу, рідше – із асфальтобетону або полімерних матеріалів (рис. 9.1, б). Греблі із водонепроникним ядром будують із глинистих матеріалів однорідними або із діафрагмою з бетону, залізобетону чи металу (рис. 9.1, в). Греблі змішаного типу виконують із різномірних ґрунтів (мал. 9.1, г, д, е). У греблях цього типу найменш проникний ґрунт розташовується або в середній частині греблі, або в напірному відкосі, або в низовій частині, де влаштовують призму із кам'яного накидання.

За способом виконання робіт кам'яні греблі ділять на насипні, накидні, вибухонасипні та із каменю сухої кладки.

Кам'яні греблі (рис. 9.3, е, ж) зводять із пристроями (екранами і діафрагмами) проти фільтрації; із дерева, бетону, асфальтобетону, металу або полімерних плівок.

Кам'яні греблі можна зводити зі штучним ущільненням і без нього. У першому випадку камінь насипається тонким шаром із механічним ущільненням та поливанням, або без поливання водою, чи накиданням з естакад із ущільненням водою під натиском із гідромонітора.

У другому випадку матеріал подається в тіло греблі у вигляді пульпи (із гравієм або щебенем), вибухом на викид, відсипанням у воду або накиданням без ущільнення. Греблі із сухої кладки виконують із добре підібраних або оброблених каменів.

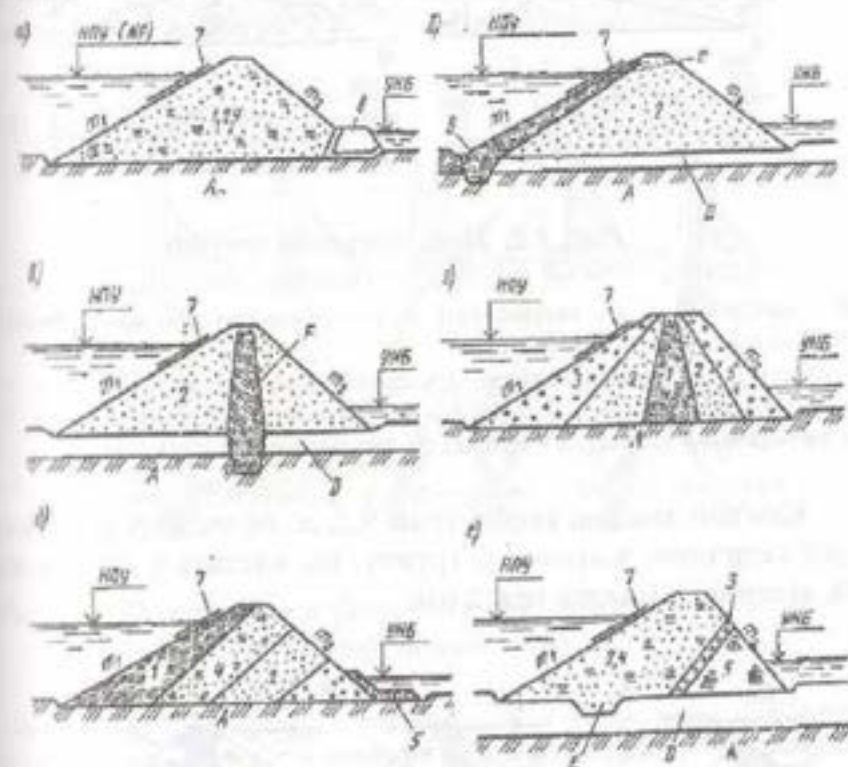


Рис. 9.1. Насипні земляні греблі:

а – із однорідного ґрунту; б – та ж, із екраном; в – та ж, із ядром; г – е – змішаного типу;
 А – водонепроникна основа; В – зуб; С – екран; D – водонепроникний шар;
 F – шпунт; F – ядро;
 1 – глина, суглинок; 2 – пісок; 3 – гравій; 4 – супісок; 5 – камінь; 6 – дренажний шар; 7 – кріплення відкосу.

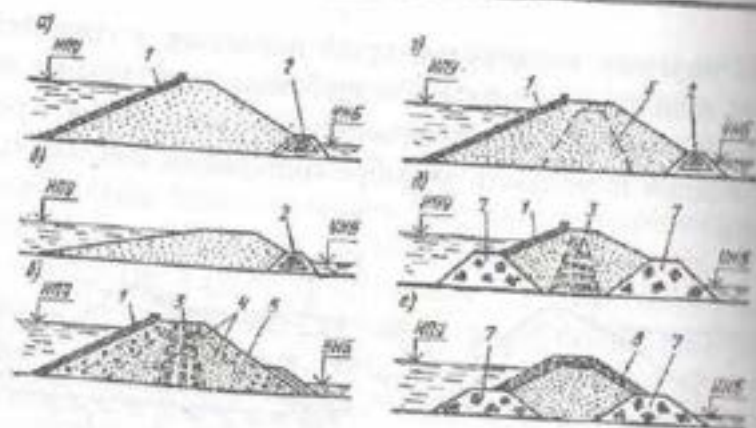


Рис. 9.2. Типи наливних гребель.

а, б – однорідні; в, г – неоднорідні; д, е – однорідні або неоднорідні в частково наливним профілем;
 1 – кріплення верхнього відкосу; 2 – дренажний банкет; 3 – ядро; 4 – перехідна зона; 5 – бокова зона; 6 – центральна дрібнопіщана зона; 7 – кам'яно-насипна призма; 8 – призма із ґрунту великих розмірів.

Кам'яно-земляні греблі (рис. 9.3, а...д) зводять із ґрунту різної величини, зокрема, із ґрунту, що містить у масі понад 50% частинок, більших ніж 2 мм.

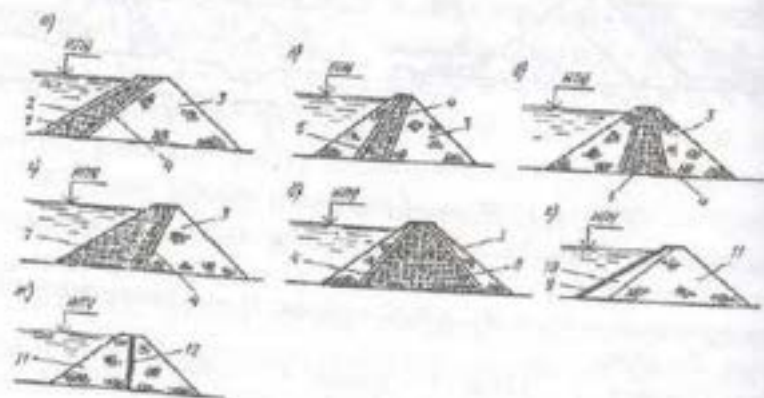


Рис. 9.3. Кам'яно-земляні (а...д) і кам'яно-насипні (е, ж) греблі

а – із ґрунтовим екраном; б – із насипним ядром; в – із вертикальним екраном; г – із поверхневою ґрунтовою призмою; д – із центральною піщаною призмою;

е – ґрунтовий екран; 2 – захисне навантаження; 3 – ґрунт з кусками великих розмірів; 4 – зворотній фільтр (перехідна зона); 5 – нахилена ядро; 6 – вертикальне ядро; 7 – верхня ґрунтова призма; 8 – центральна піщана призма; 9 – неґрунтовий екран; 10 – підекранна кладка; 11 – ґрунт з кусками великих розмірів; 12 – діафрагма

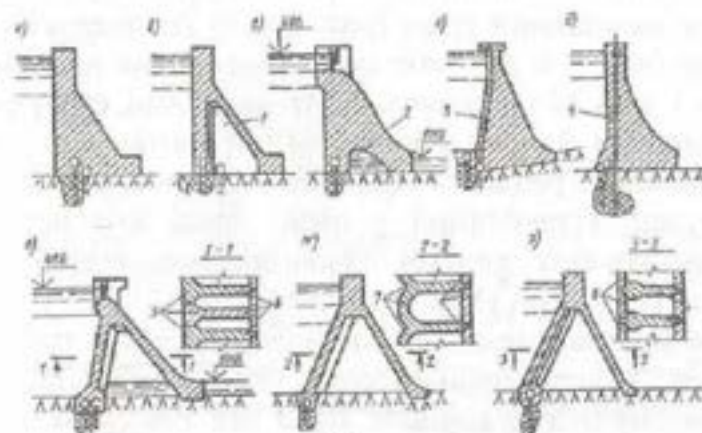


Рис. 9.4. Основні типи бетонних і залізобетонних гребель на скелястій основі (підощві)

Гравітаційні: а – масивні; б – з розширеним швом; в – з поздовжньою щелью в основі; г – з екраном на напірній грані; д – з анкерами в основі; е – масивно-контрфорсна; ж – багатоарочна; з – з плоскими перекриттями.

1 – розширений шов; 2 – поздовжня порожнина; 3 – екран; 5 – масивні головники; 6 – контрфорси; 7 – аочні перекриття; 8 – плоскі перекриття.

Пристрої (екрани і ядра) проти фільтрації, виконують із ґрунтового матеріалу.

Бетонні і залізобетонні греблі класифікують за конструкцією і призначенням. За конструкцією розрізняють

масивні (або гравітаційні), контрфорсні та абочні греблі (рис. 9.4). Масивні греблі вимагають для будівництва великої кількості матеріалу, за рахунок своєї маси чинять опір зсуву (рис. 9.4, а).

Тому частіше застосовують конструкції полегшення гравітаційних гребель, у яких цих недоліків немає: із розширеними швами біля підшови (рис. 9.4, б), із поздовжньою порожниною біля підшови (рис. 9, в), із екраном на напірній грані (рис. 9.4, г) із анкеруванням біля підшови (мал. 9.4, д), – або простір між ними перекривається арками і тоді їх називають багатоарочними контрфорсними греблями (рис. 9.4, ж, е) або плоскими плитами (рис. 9.4, з).

Абочні греблі – це, як правило, тонкостінні конструкції, криволінійні у плані, іноді й у поперечному перетині (гребля двоякої кривизни або вежевого типу), обернені опуклістю у бік верхнього об'єму.

За призначенням бетонні і залізобетонні греблі ділять на глухі і водозливні. Проте глухі греблі із бетону і залізобетону будують рідко. Зараз цей тип гребель будують як земляні.

Дерев'яні греблі будують, як правило, водозливні пальово-рядового типу. Опір руйнуванню забезпечується за допомогою забитих у підшову паль і завантаження банок баластом із каменю, землі і т.п. Тепер великі дерев'яні греблі не будують.

Сталеві стаціонарні греблі можна віднести до типу контрфорсних. Їх будують рідко через високу вартість та дефіцитність матеріалу. Значно частіше використовують греблі із металевими рухомими частинами.

Тканинні греблі ділять на наповнювані водою, повітрям або водою і повітрям, мембранні й комбіновані. Їх роблять із гумовотканинних, плівково-тканинних і плівкових матеріалів і тиском до 5,0 м водяного стовпа.

Водозабірними спорудами (або водозабором) (рис. 9.5) називають гідротехнічні споруди, призначені для відбору

води із джерела, її попереднього освітлення і подаванні споживачеві в необхідній кількості і під потрібним тиском. Водозабірні споруди поділяються на міські, промислові, зрошувальні і т.д. Водозабірні споруди поділяють за видом джерела водозабору на річкові, озерні, водосховищні та морські; за способом відбору води – на безгреблеві та греблеві; за надійністю подавання води залежно від категорії водоспоживача – на три категорії.

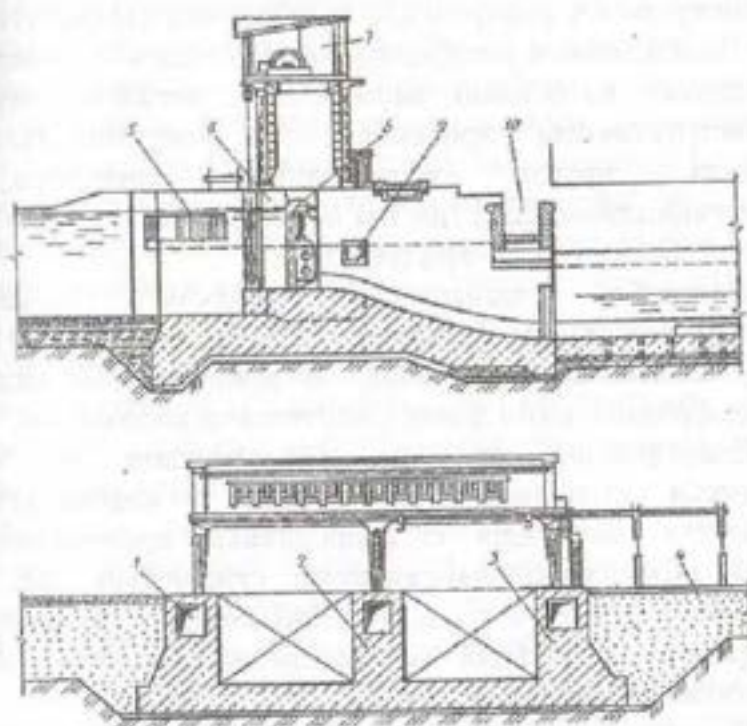


Рис. 9.5. Схема водозабору в тілі греблі:

- 1 – водоприймальні газарей; 2 – підпора греблі; 3 – стійки; 4 – тіло греблі;
5 – решітки; 6 – ремонтні шандори; 7 – лебідки; 8 – щит; 9 – аловлювач
порок; 10 – скидний лоток

При безгреблевому водозаборі на крутих берегах будують водозабірні споруди берегового типу, а на похилих – водозабірні споруди роздільного типу (із водоприймачем – самопливними або сифонними лініями і береговим колодезем із насосною станцією першого підйому), або водозабірні споруди із самопливно-сифонними лініями, що укладаються на естакаді, а також водозабірні споруди з каналами, які підводять і захищають греблями (так званими ковшами).

Водоприймачем називають конструкцію, що розташовується у водотоці або водоймі, яка забезпечує відбір води. Водоприймачі розділяють на незатоплені і затоплені; за матеріалом – на бетонні, залізобетонні, металеві і дерев'яні; за конструктивним вирішенням – на розтрубні, галереїні, трубчасті, круглі, каплеподібні, конфузорні, за продуктивністю – малої (до $1 \text{ м}^3/\text{с}$), середньої (від 1 до $6 \text{ м}^3/\text{с}$) і великої (понад $6 \text{ м}^3/\text{с}$) продуктивності.

Водозабір здійснюють шляхом будівництва водозабірних вузлів (зазвичай, із натиском до 10 м), до складу якого входить гребля. За конструкцією виділяють бічний, фронтальний і донно-решітчастий водозабір.

Водопровідні споруди, що входять до складу гідровузлів, поділяють на водоскиди і водовипуски. За допомогою водоскидів із водосховища пропускаються у нижній об'єм паводкові витрати, скидаються лід, шуга, плаваючі предмети і т. п. Постійні корисні господарські і санітарні випуски води із водосховища здійснюються за допомогою водоспусків.

Водоскиди обладнують у тілі греблі, або поза ним (так звані, берегові водоскиди). Водоскиди в тілі ґрунтової греблі облаштовують у межах русла річки і заплави, а за конструктивним вирішенням ділять на відкриті і трубчасті. Відкриті водоскиди роблять у вигляді водозливних бетонних гребель. Трубчасті водоскиди працюють як напірні трубопроводи і дозволяють здійснювати скидання води в нижній об'єм у різних режимах.

Берегові водоскиди конструюються у вигляді каналів, тунелів або в комбінації їх із водозливом. Водоскиди обладнують затворами, робота яких може бути автоматизована.

Водоспуски, так само, як і водоскиди, ділять на водоспуски у тілі ґрунтової греблі і на берегові (поза тілом греблі). У першому випадку водоспуски виконують трубчастими, в другому – у вигляді відкритих водоспусків або тунелів.

Затворами водопропускних отворів називають рухомі конструкції, що дозволяють закривати і відкривати ці отвори з метою регулювання витрати і рівня води верхнього об'єму і випускання води в нижній об'єм. Затвори за положенням щодо рівня верхнього об'єму ділять на поверхневі і донні; за призначенням – на основні, ремонтні і аварійні. За способом перекриття водозливного отвору розрізняють цілісні затвори (що перекривають весь отвір) і затвори, що перекривають отвір частинами (за висотою або шириною прольоту); за способом руху – на затвори із поступальним рухом (такі, що ковзають, колісні і коткові), із обертальним рухом, перекочувани і плавучі; за способом приводу – із механічним і гідравлічним приводом.

Канал – штучний водотік із ґрунту з поперечним перетином правильної форми, що обладнуються у виїмці, насипі або напіввиїмці – напівнасипі. Канали за призначенням поділяють на енергетичні, судноплавні, водопровідні, зрошувальні, осушувальні, обводнювальні, підвідні, скидні, рибохідні, лісоплавні і комплексні. За способом подавання води бувають самопливні та машинні канали.

На каналах будують загальні й спеціальні споруди. Загальними є водозабірні споруди, перехідні ділянки каналів, які з'єднують відрізки каналів із різними поперечними перетинами, ухилами і покриттями, перепадами між сусідніми ділянками каналу з різними позначками;

водопровідними спорудами (дюкерами, селепроводами, акведуками, трубами), що облаштовуються на перетині каналом водотоків, суходолів, доріг і т.п. *Дюкер* – водопровід під тиском, прокладений у траншеї під перешкодою і який сполучає дві ділянки каналу. *Акведуки і селепроводи* укладають у вигляді лотків (звичайно, із залізобетону) над перешкодою для пропуску, відповідно, води або сечею. *Лотки* – штучні русла із негрунтових матеріалів (металу, залізобетону, дерева і т. д.) на ділянках траси каналу зі складним рельєфом.

Спеціальними спорудами на каналах є насосні станції, судноплавні шлюзи, лісосплавні лотки, рибозахисні та сміттєутримуючі пристрої.

Берегозахисні споруди призначені для захисту берегів річок, озер, водосховищ і морів від розмиву і руйнування хвилями (хвилева абразія), течіями і льодом. За характером взаємодії із хвилями, течією і потоком наносів їх поділяють на хвилевідбійні і хвилепогашуючі (хвилевідбійні стіни, ухильні зміцнення, берегові греблі, відсіпання, відкоси, галькові і піщані пляжі) і утримувачі пляжів (буни, підводні хвилеломні із траверсами).

За терміном служби берегозахисні споруди поділяють на постійні й тимчасові. Постійні відносять до гідротехнічних споруд II, III і IV класів, тимчасові – до V класу.

Регуляційні споруди (виправні) призначені для зміни режиму і напрямку течії та переформування наносів у межах русла річки в потрібному для водоспоживачів напрямі, наприклад, для підтримання необхідних глибин у межах судноплавства, забезпечення водозабору, задоволення потреб енергетики і ін.

Регуляційні споруди класифікують за різними ознаками і ділять за терміном служби – на споруди довготривалої дії, що існують протягом багатьох років, і споруди короткочасної дії, які, зазвичай, є допоміжними спорудами і

використанням у межах навігаційного сезону або одного року; за характером регулювання – паводкові і меженеві; за співвідношенням максимального рівня води й позначки гребеня споруди – на затоплювані і незатоплювані; за суцільністю – на глухі й несунільні (у вигляді частоколу наль, жердин або гіллястих загород); за типом будівельних матеріалів – на кам'яно-накидні, пальові, ґрунтові, кам'яно-хмизові і т.п.; за конструкцією – на важкі (кам'яно-накидні, кам'яно-хмизові, палі і ін.); легкі (плетені, щитові, гіллясті, із ґрунту без кріплення ухилів та ін.); за розташуванням щодо межі води – на поздовжні (греблі різного призначення) і поперечні (пороги, запруды, напівапруды), такі, що змінюють напрям і характер течії (струменеспрямовуючі поздовжні греблі, плавучі струменеспрямовуючі системи).

Накопичувачами відходів промислових виробництв нативають земляні місткості, утворені греблями або захисними греблями і призначені для складування твердих і рідких відходів промислових виробництв.

Накопичувачі за призначенням ділять на шлаковідвали теплових електростанцій, шламосховища збагачувальних фабрик кольорової і чорної металургії, накопичувачі виробничих стічних вод, відстійники промислових підприємств і комунально-побутових очисних споруд, гідровідвали, ставки-відстійники, нафтонакопичувачі, піскові майданчики, намулові майданчики, майданчики для зневоднення і накопичення осаду водопровідних очисних споруд і ставки-випарники.

За термінами служби накопичувачі бувають постійні й тимчасові (із терміном служби до 5 років). За способом спорудження ці види споруд поділяються на наливні і насипні. За призначенням накопичувачі використовують для складування матеріалу, захоронення матеріалу і збирання токсичних стоків.

Таблиця 9.3.

Класи капітальності спеціальних наливних споруд залежно від їх проектної висоти

Клас капітальності	Проектна висота споруди
I	>50
II	25 ... 50
III	15 ... 25
IV	< 15
V	Тимчасові споруди

9.2. Матеріали, що використовуються в гідротехнічному будівництві

У гідротехнічному будівництві широко застосовують традиційні будівельні матеріали: бетон, залізобетон, метал, дерево, камінь, різні ґрунти, асфальт, бітум, а також спеціальні види матеріалів (полімерні, тканинні і гумово-тканинні).

Вибір матеріалу обумовлюється умовами роботи гідротехнічної споруди, категорією надійності споруди, її конструкцією, наявністю місцевих будівельних матеріалів, способом виконання робіт і техніко-економічними показниками будівництва.

Матеріали, використовувані у гідротехнічному будівництві, повинні забезпечувати при статичних і динамічних навантаженнях міцність споруд, їх елементів і вузлів протягом розрахованих термінів експлуатації, стійкість проти руйнуючих дій навколишнього середовища з врахуванням кліматичних умов, змочування, що повторюються, і висихання поверхні, періодичного заморожування і розтоплення, агресивної дії вод, абразивної дії наносів, тощо.

У теперішній час бетон і залізобетон є основними матеріалами для зведення гідротехнічних споруд. Широко

розповсюдження конструкцій із цих матеріалів пояснюється тим, що їх застосування дає можливість широко використовувати механізацію робіт при високих темпах будівництва, надавати спорудам найрізноманітніші форми при необхідній якості бетону, їх транспортування і укладання достатньо прості, а вартість відносно невелика.

Гідротехнічний бетон повинен мати певні специфічні властивості, що забезпечують його довготривалу роботу; до них відносяться підвищена міцність, щільність, водонепроникність, морозостійкість, стійкість проти агресивної дії води, опір стиранню і ін. Забезпечуються ці властивості належним підбором складу бетону, дотриманням відповідних правил його виготовлення і укладання, а також організацією бетонних робіт згідно вимог нормативних документів.

Щільність бетону визначається матеріалом заповнювачів і технологією укладання. За щільністю бетони поділяються на особливо важкі зі щільністю $>2700 \text{ кг/м}^3$ при важких заповнювачах (сталеві тирса, барит), важкі - зі щільністю від 2100 до 2600 кг/м^3 на заповнювачах із кварцового піску, щебеню, гравію, або щільних гірських порід; полегшені - зі щільністю від 1000 до 1800 кг/м^3 із пористими заповнювачами (цегляним щебенем) і особливо легкі - із щільністю $<1000 \text{ кг/м}^3$, що практично виготовляються на основі заповнювача із крупнопористою структурою.

9.3. Захист гідротехнічних споруд від корозії

Найбільшому руйнуванню (корозії) під впливом навколишнього середовища піддаються дерево, метал, бетон і залізобетон.

Дерев'яні конструкції гідротехнічних споруд підлягають гниттю - розкладанню деревини під впливом фізико-хімічних чинників і дії грибів, а в морській воді вражаються деревоточцями (молосками і ракоподібними). Практично,

найбільш прийнятним методом оберігання деревини від гниття і враження деревоточцями є глибинне просочування деревини креозотом із токсичними додатками, наприклад, розчинами із вмістом міді.

Корозія металу спостерігається в усіх зонах гідротехнічних споруд по висоті, і виникає в результаті місцевих безлічі мікроскопічних короткозамкнутих гальванічних елементів, що утворюються на поверхні металу завдяки наявності ділянок із неоднаковими електричними потенціалами.

Виділяється три види хімічної корозії бетону: розчинення складових частин цементу – вилугуванням (у першу чергу, оксиду кальцію); утворення в результаті хімічних реакцій між речовинами, що містяться у воді і в цементі, нових речовин, наприклад, легкорозчинних; утворення в результаті обмінних реакцій речовин, які кристалізуються в порах бетону і, збільшуючись в об'ємі, руйнують бетон.

Корозія вилугуванням спостерігається у спорудах, де відбувається фільтрація води (дамби, шлюзи, тунелі, суходоли і ін.). Для другого виду корозії найбільше значення має, так звана, магнезійна корозія бетону, що полягає в дії вільний гідроксид кальцію солей магнецію. При цьому утворюються легкорозчинний хлористий кальцій і труднорозчинний гідроксид магнецію, який випадає у вигляді аморфного порошку білого кольору, що не має термичних властивостей.

Для гідротехнічних споруд вирішальне значення має сульфатна корозія – результат взаємодії сірчанокислого магнецію із вільним вапном і алюмінатом кальцію. Двоводний гіпс, що утворюється при цьому, кристалізується, збільшується в об'ємі, що веде до руйнування бетону. Протикорозійна стійкість бетону забезпечується застосуванням сульфатостійких цементів, зокрема, для морських умов і за наявності високомінералізованих вод.

високою щільністю бетону, що досягається правильним вибором складу бетону, необхідною технологією виготовлення конструкцій, застосуванням матеріалів, що відповідають вимогам, підвищенням морозостійкості і водонепроникності бетону, що позначається безпосередньо на його корозійній стійкості, і введенням відповідних добавок.

У залізобетонних конструкціях кородують і бетон, і арматура. Захистити арматуру можна або дією на середовище – бетон, або безпосередньо на метал. При щільному корозійностійкому бетоні і достатній товщині захисного шару корозії арматури у залізобетоні не спостерігається, оскільки при високій концентрації гідроксиду кальцію у капілярній волозі створюється лужне середовище (рН 12...13), внаслідок чого відбувається пасивація арматури. За наявності тріщин у захисному шарі під ними утворюється анод, що приводить до корозії арматури.

Підвищити корозійну стійкість арматури можна введенням у сталь легуючих добавок (хром, нікель, мідь, кремній і ін.); нанесенням металевих покриттів із цинку і алюмінію товщиною від 120...180 до 250...300 мкм залежно від агресивності середовища; застосуванням електрохімічного захисту.

Для запобігання корозії арматури у бетонну суміш можна вводити спеціальні речовини, так звані, *інгібітори* – нітрит натрію, тетраборат натрію, біхромат натрію і калію та ін. Разом із тим, для деяких видів конструкцій, доцільно використовувати фарбування, просочувальні і мастильні покриття – бітумні і на основі полімерних композицій.

Пористі будівельні матеріали, зокрема, бетон і залізобетон піддаються фізичній корозії в результаті деформацій при висиханні і набуханні матеріалу при перемінному його змочуванні і висиханні, відкладання солей у порах матеріалу і особливо при циклічному заморожуванні

і розморожуванні. В останньому випадку застосовують утеплююче облицювання конструкцій.

Питання до дев'ятого розділу:

1. Як класифікуються гідротехнічні споруди?
2. Які споруди називають верхнім і нижнім об'ємом водосховища?
3. Які гідротехнічні споруди називається порогом і греблею?
4. Якого типу бувають греблі?
5. Який комплекс споруд називають водозабірними?
6. Якого типу бувають накопичувачі?
7. Які матеріали використовують у будівництві гідротехнічних споруд?
8. Які бувають класи берегозахисних споруд?
9. Як захищають гідротехнічні споруди від корозії?
10. Які бувають види хімічної корозії споруд?

РОЗДІЛ 10 ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ І ПРОЦЕСИ В МОРЯХ, ОЗЕРАХ ТА ВОДОСХОВИЩАХ

10.1. Солоність, температура і щільність (густина) морської води

Морська вода відрізняється від води прісних водойм гірко-солоним смаком, густиною, прозорістю і кольором, агресивнішою дією на будівельні матеріали та іншими властивостями, що пояснюється вмістом у ній значної кількості розчинених твердих речовин і газів.

Морська вода – це слабкий, повністю йонізований розчин з лужною реакцією ($\text{pH} = 7,8 \dots 8,3$).

Приведену до вакууму вагову кількість всіх твердих речовин, розчинених у 1 кг морської води, виражену у грамах, за умови, що всі галогени замінені еквівалентною кількістю хлору, всі карбонати перетворені на оксиди, а органічні речовини спалені при температурі 480°C , прийнято називати солоністю морської води. Солоність позначається символом S . За одиницю солоності приймають 1 г солей, розчинених у 1000 г морської води, і називають її проміле (‰). Середня солоність (S) Світового океану = 35‰.

Солоність морів відрізняється від солоності океану; це залежить від їх фізико-географічного положення і ступеня відособленості від океану. У Середземному і Червоному морях, наприклад, солоність більша, ніж солоність океану – 38 і 41 ‰ відповідно; солоність у Чорному морі – 18,3‰, Каспійському – 12,8‰.

Вміст солей у водах озер ще більше відрізняється від середньої солоності океану, що пояснюється різним ступенем мінералізації джерел живлення, протічності кліматичними умовами. У прісних озерах $S < 1\text{‰}$, солонуватих – $10\text{‰} < S < 24,7\text{‰}$, солоних – $24,7\text{‰} < S < 47,0\text{‰}$ і мінеральних – $S > 47\text{‰}$. У водосховищах вода прісна.

У річковій воді кількість розчинених речовин значно залежить від фізико-географічних умов і коливається від сотих долей грам-моля до декількох грамів на 1 л води, але, як правило, у середньому не перевищує 300...500 мг/л.

У живленні озер значну роль відіграють підземні води з підвищеною мінералізацією. Залежно від географічної зони озер склад мінеральних речовин і їх кількісний вміст у воді змінюється від 20...40 до 200...300 мг/л у зоні постійного зволоження. У зонах нестійкого і недостатнього зволоження мінералізація озер збільшується до 700 мг/л і вище.

Солоність і сольовий склад озер міняється за площею, глибиною і в часі, через невідповідність між складом і мінералізацією вод озера, річок і підземних джерел, які живлять його а також в результаті сезонної зміни проточності озер. На хімічну неоднорідність вод озера впливають розміри озера, форма берегової лінії, нерівномірність глибини, сповільнений водообмін та інші чинники.

Контактуючи з атмосферою, вода морів, озер і водосховищ поглинає з повітря газів, що містяться у ньому: кисень, азот і вуглекислоту. Крім того, ці газів надходять у воду в результаті хімічних і біологічних процесів, що відбуваються у водоймах, і, нарешті, виносяться річками.

Кількість розчинених газів у воді визначається парціальним тиском і розчинністю газів, яка залежить від хімічної природи газів і зменшується із підвищенням температури.

Газовий режим озер, так само, як і морів, пов'язаний із розподілом температури і життєдіяльністю гідробіонтів. Останній чинник особливо різко виявляється у дрібних озерах, що добре прогриваються, де за рахунок фотосинтезу вміст кисню може різко підвищитися, аж до перенасичення. За наявності речовин, що легко окиснюються, може спостерігатися дефіцит кисню.

Найважливішою характеристикою води у будь-якій водоймі є її температура. Прогрівання поверхні води

відбувається в основному прямою і розсіяною сонячною радіацією, а також у результаті конденсації вологи, випадання опадів, теплопередачі з повітря та ін. Крім нагрівання, відбувається і охолодження води за рахунок випаровування, випромінювання тепла в атмосферу і конвективного теплообміну між океаном і атмосферою. Зміна температури води може відбуватися також у результаті горизонтальних і вертикальних перемішень мас води.

Зміна температури на поверхні морів, озер і водосховищ залежить від зонального розташування, солоності, гідрологічного режиму і відбувається в досить широкому діапазоні: від 0 °С (для морів - 1 °С) зимою до 25...30 °С і більше влітку.

Зміна температури води з глибиною в озерах пов'язана із сезонними коливаннями, гідрометеорологічними умовами і морфометричними характеристиками. У замерзаючих озерах помірної зони спостерігаються весняно-літнє нагрівання і осінньо-зимове охолодження води. Весняне нагрівання починається перед розкриттям крижаного покриву. У цей час температура води підвищується з глибиною. При нагріванні води під льодом починається частково вертикальна циркуляція, яка повністю розвивається при таненні льоду. У результаті вода переміщується і по всій товщі встановлюється одна й та ж температура, рівна температурі придонних шарів. Подальше нагрівання відбувається до температури найбільшої щільності 4 °С.

У літній період прогриваються верхні шари води і температура зі збільшенням глибини знижується. Ця закономірність, особливо у малих озерах, порушується при вітрохвильовій дії.

Між верхнім, теплим, шаром води і нижнім, холодним, формується шар із високими градієнтами температури по глибині - так званий, шар стрибка, який може руйнуватися в результаті дії хвиль або вертикальної конвекції, а також, при осінньому охолодженні. У цей період температура по

глибині вирівнюється, чому сприяє не тільки пониження температури, але й посилення хвиль і конвекції. При зимовому охолодженні, яке починається після встановлення по всій товщі води температури 4°C , вода швидко охолоджується у верхніх шарах, аж до замерзання.

Термічний режим водосховищ має багато спільного з термічним режимом мілководних озер, але, у той же час, має й деяку специфіку. Весняне прогрівання передчасно припиняється через надходження із річковим стоком талих холодних вод, температура яких 0°C . Надалі температура води у водосховищі підвищується за рахунок нагрівання і надходження теплих річкових вод. Температура за площею водосховища у цей час розподілена вкрай нерівномірно – коливання можуть досягати декількох градусів. Улітку верхні шари прогріваються, особливо на мілководді, але в улоговині водосховища залишаються холодні води. В осінній період під впливом вітрохвильових чинників води водосховища добре перемішуються, охолоджуючись одночасно майже до 0°C . Подальше зимове охолодження веде до утворення крижаного покриву.

Температура кипіння води зростає зі збільшенням її солоності і при $S = 35\text{‰}$ рівна $100,56^{\circ}\text{C}$.

Густиною морської води в океанографії прийнято називати відношення ваги одиниці об'єму води при температурі у момент її спостереження до ваги одиниці об'єму дистильованої води при температурі 4°C . Отже, за густину морської води береться її питома вага – величина безрозмірна.

На глибині вода знаходиться під тиском розміщення вище шарів, і цей тиск, природно, тим вищий, чим більша глибина. У результаті відбувається стиснення води і збільшення її густини. Тому при визначенні густини або питомого об'єму води на глибині, необхідно враховувати її стискуваність, яка є невеликою, але, якби вода була

нестискувана, то рівень океану підійнявся б на 30,4 м щодо його теперішнього положення.

10.2. Хвилі і течії

У результаті дії на води океанів, морів, озер і водосховищ різних сил виникає коливальний і поступальний рух частинок води. Розповсюдження коливань у воді називають хвильовим рухом або хвилями. Хвилею може бути розповсюдження збурення будь-якого вигляду: одиночна хвиля (рис. 10.1, а), обмежена хвиля (рис. 10.1, б) і нескінченна хвиля (рис. 10.1, в). Особливе значення має останній випадок.

Частинки води при розповсюдженні хвиль здійснюють тільки коливальні рухи біля свого середнього положення. При розповсюдженні хвиль немає перенесення маси, спостерігається тільки перенесення енергії.

При описі хвиль у разі плаского руху часто використовують характеристики, наведені на (рис. 10.2).

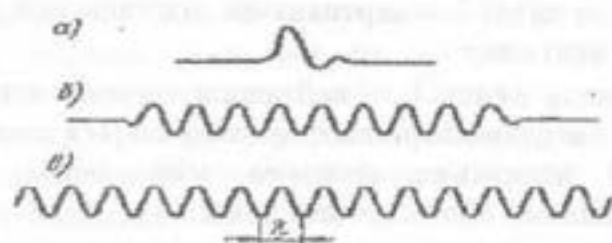


Рис. 10.1. Хвилі різних видів. λ – довжина хвилі.

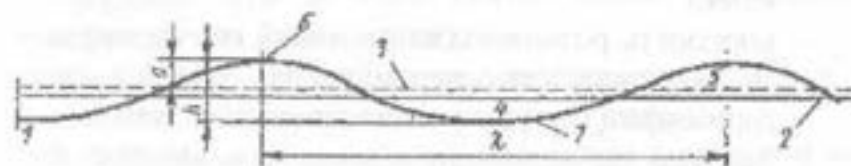


Рис. 10.2. Основні елементи двомірної регулярної хвилі.

До таких характеристик належать:

- профіль хвилі 1 – лінія перетину схвильованої поверхні моря із вертикальною площиною, орієнтованою в напрямі розповсюдження хвиль;
- спокійний рівень 2 – рівень води за відсутності хвилювання;
- середня хвилева лінія 3 – горизонтальна лінія, що ділить відстань між вершиною і основою хвилі навпіл;
- западина хвилі 4 – частина хвилі, розташована нижче, ніж спокійний рівень;
- гребінь хвилі 5 – частина хвилі, розташована вище ніж спокійний рівень;
- вершина хвилі 6 – найвища точка гребеня хвилі;
- основа хвилі 7 – найнижча точка западини хвилі;
- фронт хвилі – лінія гребеня хвилі у плані.

У кількісному відношенні морські хвилі характеризуються елементами, або параметрами, хвиль, до яких відносяться (рис.10.2):

- висота хвилі h – вертикальна відстань між вершиною і основою хвилі;
- довжина хвилі λ – найменша горизонтальна відстань між частинками рідини, що знаходяться в одній і тій же фазі коливання, зокрема між двома суміжними вершинами або основами хвилі;
- крутизна хвилі – відношення висоти хвилі до її довжини;
- період хвилі T – час одного циклу коливання частинки води;
- швидкість розповсюдження хвилі, або фазова швидкість V – швидкість переміщення гребеня хвилі по горизонталі без урахування швидкості течії.

Залежно від характеру діючих сил, величин елементів хвиль і їх змін у часі, співвідношення між елементами хвиль і глибиною води та іншими чинниками в морі можуть

спостерігатися різноманітні системи хвиль. Їх класифікацію можна виробити за різними ознаками. Перш за все, хвилі можна класифікувати за чинниками, які їх зумовлюють. При цьому розрізняють:

- *вітрові хвилі*, що викликані вітром;
- *припливні*, які виникають під впливом тяжіння Місяця і Сонця;
- *анемобаричні*, що виникають при зміні рівня моря під впливом зміни атмосферного тиску;
- *сейсмічні* – утворюються в основному в результаті динамічних процесів усередині земної кори в межах океану;
- *корабельні* – утворюються на поверхні води внаслідок руху корабля та ін.

За силами, що прагнуть повернути поверхню води до стану рівноваги, розрізняють *капілярні* й *гравітаційні* хвилі, які знаходяться під дією відповідно сил поверхневого натягу і сил тяжіння, відповідно. Капілярні хвилі мають висоту, довжину (мм) й утворюються в початковій стадії розвитку вітрових хвиль або на поверхні крупних хвиль. Решта хвиль відноситься до гравітаційних.

За характером руху форми хвилі можуть бути

- *прогресивними (поступальними)*, коли форма хвилі переміщається у просторі;
- *стоячими*, такими, що утворюються при накладенні двох прогресивних хвиль із рівними висотами, періодами, що розповсюджуються у протилежних напрямках (при стоячих хвилях немає поступального переміщення форми хвилі);
- *прогресивно-стоячими*, такими, що утворюються при накладенні прогресивної хвилі на стоячу.

За співвідношенням довжини хвилі і глибини води розрізняють такі хвилі:

– *хвилі на глибокій воді* – короткі хвилі, коли півдовжина хвилі менша, ніж глибина води і швидкість розповсюдження хвиль визначається тільки довжиною хвилі;

– *хвилі на кінцевій глибині*, коли довжина хвилі одного порядку із глибиною води і швидкість розповсюдження залежить одночасно і від довжини хвилі, і від глибини води;

– *хвилі на малій глибині*;

– *хвилі довгі*, коли довжина хвилі значно більша ніж глибина води, а швидкість розповсюдження залежить тільки від глибини води.

Хвилі, що розповсюджуються під впливом сил, називають вимушеними; хвилі, що вийшли з-під впливу сил, та розповсюджуються після припинення їх дії, називають вільними. Вимушені хвилі можуть бути такими, що розвиваються, і сталими. Вільні хвилі у природних умовах завжди затухають.

За глибиною розташування розрізняють хвилі поверхневі і внутрішні.

Залежно від співвідношення висоти і довжини хвилі можуть бути круті й пологі.

Залежно від величини періоду спостерігається широкий спектр хвиль із періодом від долей секунди до декількох років.

За **формою** виділяють:

двовірні хвилі, коли довжина гребеня (по фронту хвилі) у декілька разів більша, а ніж довжина хвилі, гребені строго паралельні один одному і висота хвилі уздовж гребеня постійна;

тривимірні хвилі, коли довжина гребеня співмірна із довжиною хвилі;

одиначні хвилі, коли хвиля має тільки один гребінь, піднятий над спокійним рівнем, і не має западини.

Із багаточисельних типів хвиль найбільше значення мають вітрові і гравітаційні хвилі. Вітрові хвилі можуть бути

вимушеними, вільними і змішаними. Вимушеними вітровими хвилями називають хвилі, що знаходяться під впливом вітру. Хвилі, що вийшли із району дії вітру або розповсюджувалися після припинення вітру, називають вільними хвилями або брижами. У результаті складання вимушених хвиль і брижів, що прийшли, наприклад, у певний район з іншої області моря, утворюються змішані хвилі. Сукупність усіх систем хвиль, що утворилися на поверхні моря при дії вітру, називають вітровим хвилюванням.

Залежно від швидкості вітру, часу його дії і довжини шляху (розгону), впродовж якого вітер живить хвилі енергією, висота хвилі може зрости від долей міліметра до 27...30 м. Проте такі значення висот хвиль спостерігаються надзвичайно рідко. Частіше крупні хвилі в океані мають висоту 8,5...9,0 м, у Чорному і Каспійському морях – 8...9 м.

На озерах і водосховищах параметри вітрових хвиль значно менші і вони крутіші, ніж в океанах та морях, це пов'язано з меншими значеннями хвилеутворюючих чинників. Максимальні хвилі на озерах мають висоту близько 3...4 м, іноді до 5...6 м. Найчастіше повторюються на крупних озерах хвилі з висотою 0,5...0,8 м, на дрібних озерах – менше 0,5 м. На водосховищах хвилі ще менші – їх висота складає 3...4 м, це спостерігається при озеровидній формі водосховища. При витягнутій формі водосховища, що буває досить часто, значні хвилі розвиваються при вітрі, що дме вздовж водосховища.

Розповсюджуючись із глибокої води в бік берега, хвилі вступають в прибережну, мілководну зону водойми, після чого починається безперервний процес зміни всіх характеристик хвилювання, що одержав назву трансформації хвиль на мілководді. Тривимірні хвилі із просуванням у бік глибини, що зменшуються, поступово перетворюються на двовірні. Тому на мілководді хвилі завжди мають вид дуже довгих, приблизно паралельних один одному гребенів. Одночасно відбувається зміна швидкості розповсюдження хвиль, форми

профілю хвилі, її висоти і довжини, траєкторій і швидкості руху частинок води тощо. Характер і величина цих змін залежать, перш за все, від глибини води і крутизни початкових хвиль; певну роль відіграють шорсткість і проникність дна, напрям і швидкість вітру та течій.

При скошеному підході хвиль із зменшенням глибини відбувається постійна зміна напряму розповсюдження хвилі, викривлення лінії гребенів і розгортання їх у бік берега. Це явище, що одержало назву рефракції хвиль на мілководді, пояснюється тим, що морська ділянка гребеня ніби обганяє берегову ділянку, оскільки швидкість розповсюдження хвилі скорочується зі зменшенням глибини води.

Відповідно до зміни внутрішньої структури змінюється і форма профілю хвилі при її русі в бік берега: крутизна переднього схилу хвилі зростає, крутизна заднього схилу зменшується; гребені хвиль коротшають і підіймаються щодо спокійного рівня на величину, що становить 80% і більш від загальної висоти хвилі; улоговини хвиль стають більш пологими і трохи подовжуються.

Досягнувши верхньою частиною переднього схилу хвилі, тобто, приблизно вертикального положення, гребені хвилі втрачає стійкість і обвалюється, а хвиля руйнується. Руйнування відбувається протягом короткого відрізка часу і дуже бурхливо, з утворенням аерованої зони – пінявого буруна – і супроводжується характерним шумом; при цьому спостерігається інтенсивне розсіювання енергії.

Окрім коротких вітрових хвиль, спостерігаються довгі хвилі. Довгі поступальні хвилі із невеликою амплітудою, викликані дією зовнішніх сил (змінною атмосферного тиску, вітрового наганяння, сейсмічних явищ), розповсюджуються після припинення їх дії як вільні хвилі від місця виникнення до берега і повністю від нього відкочуються. У результаті інтерференції падаючої і відбитої хвиль утворюються вільні стоячі хвилі, які зустрічаються в усіх природних водоймах. Вони одержали назву «сейш». Зміни рівня, викликані

сейшами, досягають у деяких випадках 2...3 м. У водосховищах, як правило, сейші не спостерігаються.

Поступальні переміщення водних мас називають течіями. Течії можуть поділятися за такими параметрами, як:

- тривалістю (постійні, тимчасові, періодичні);
- за силами, що їх викликали (зовнішні, викликані вітром, тиском, припливоутворюючими силами Місяця і Сонця та внутрішні, викликані нерівномірним розподілом густини води);
- за розташуванням у товщі води (поверхневі та глибинні).

Під впливом вітру залежно від часу його дії у верхньому шарі водойми можуть виникнути постійні течії – дрейфові, створювані пануючими і тривалими вітрами, і тимчасові – вітрові, виникаючі при тимчасовому і нетривалому вітрі.

Одночасно з приливно-відпливними змінами рівня спостерігається горизонтальне переміщення водних мас – періодичні припливно-відпливні течії, які можуть бути тільки в океанах і морях.

При підвищенні рівня в якомусь районі моря через різні причини (випадання атмосферних опадів, стік річок, наганяння і ін.) виникають стоячі течії. При вітровому наганянні ці течії розташовуються від поверхні води до дна і їх називають градієнтними течіями. При нерівномірному розподілі густини виникають течії, які можуть бути поверхневими і глибинними.

Течії, що спостерігаються у водоймах, насправді є сумарною течією, що утворюється в результаті дії багатьох сил. Зі всього різноманіття течій найбільше практичне значення мають течії, викликані вітром (постійні і тимчасові), і припливно-відпливні у морях. У прибережній зоні спостерігається дві групи течій:

- течії глибокої води (дрейфові і градієнтні);

– течії, що виникають через вітрове хвилювання.

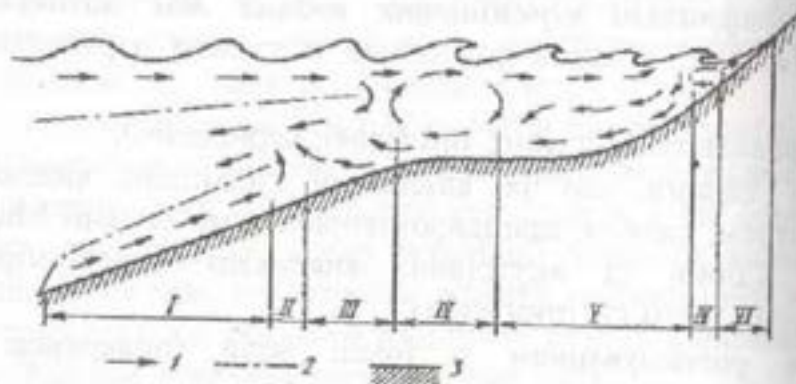


Рис. 10.3. Узагальнена схема циркуляції води в береговій зоні

I – зона донного перенесення у бік берега; II – зона конвергенції; III – зона донного перенесення у бік моря; IV – зона розподілення хвиль; V – прибіжна; VI – зона хвильприбіжного потоку;
1 – напрямок перенесення маси води; 2 – лінії нульової переносної швидкості; 3 – лінія дна.

При великій глибині біля берега і вітрі рівень води перекошується і збуджується градієнтна течія, яка буде спрямована уздовж берега по всій товщі води до глибини впливу дна. Розповсюджуючись до поверхні, глибинні течії накладаються на вітрові течії. Циркуляція в горизонтальній площині мілководної прибережної зони розвивається в результаті збурень підводного рельєфу або хвильового поля. При цьому формуються замкнуті круговороти (циркуляційні осередки), що забезпечують водообмін між областю незруйнованих хвиль і прибіжною зоною. Течія до берега спрямована у області мілин або високих хвиль, та у бік моря на ділянці депресій (западні) і знижених висот хвиль.

10.3. Коливання рівня моря

Поверхню, перпендикулярну у будь-якій точці до напряму результуючої сили, називають поверхнею рівня. Положення поверхні рівня називають рівнем моря у даному місці.

Окрім стаціонарних збурень, поверхня рівня сприймає і нестационарні збурення, які виявляються у вигляді коливань рівня моря. Ці коливання можуть бути періодичними, неперіодичними і столітніми.

До періодичних коливань рівня належать:

- приливно-відпливні;
- метеорологічні;
- коливання, що відбуваються в результаті опадів, випаровування й стоку вод;
- коливання, пов'язані із періодичною зміною напряму вітру.

Неперіодичні коливання рівня викликаються випадковими змінами величини опадів, випаровування і стоку, дією вітру випадкового напряму, підводними землетрусами і виверженнями (внаслідок чого можуть утворитися цунамі), тимчасовими течіями, неперіодичною зміною атмосферного тиску, зміною густини води та іншими причинами.

Зміна рівня при дії вітру пов'язана із явищами наганяння зганяння, що спостерігаються у прибережній зоні водойми. У дрібних водоймах рух води співпадає із напрямом вітру. Якщо вітер дме у бік берега, то у результаті припливу води рівень біля берега підвищується – відбувається наганяння води; при напрямі вітру від берега відбувається пониження рівня – спостерігається зганяння води. Величина коливань, наганяння-зганяння, залежить від місцевих умов, зокрема від рельєфу дна і конфігурації берегової лінії. Найбільші коливання рівня при явищах наганяння-зганяння, спостерігаються на міліні, у довгих затоках, що звужуються, вузьких протоках і гирлах річок.

Зазвичай зміна рівня відбувається у результаті сумісної дії вказаних чинників, що пояснюється їх взаємообумовленістю та взаємозв'язком. Особливо велика зміна рівня відбувається при збіганні за фазою коливань нагання-згання, і метеорологічних коливань, якщо ще до того ж період останніх співпадає із періодом власних коливань водойми (сейшми).

10.4. Класифікація природного льоду

Існує вісім класів льодів:

- атмосферний лід (сніг, іній, град, ожеледця);
- поверхневий лід акваторії, що покриває у зимовий час океани, моря, озера, річки й невеликі водойми;
- середньоводний лід – крижані кристали, що утворюються в товщі води і на дні водоймища (донний лід), сюди ж належить шуга – лід, що сплив на поверхню, або занесений усередину потоку внутрішньоводний лід у вигляді грудок різних форм і розмірів;
- материковий лід – різного типу льодовики;
- лід багаторічної мерзлоти;
- лід, який утворюється особливо, наприклад, ожеледця;
- лід із піни, бризок;
- лід, штучно створений людиною.

Із точки зору гідротехніки найбільший інтерес представляє лід другого класу, куди, окрім річкового та озерного, належить морський. Класифікувати лід можна за різними ознаками.

За походженням розрізняють морський і прісноводний (річковий, озерний і глетчери).

Морський лід, в свою чергу, буває нерухомий і плавучий. Основною формою нерухомого льоду є припай – суцільний крижаний покрив, пов'язаний із берегом, іноді шириною до декількох десятків кілометрів. Початковою

формою припая є крижаний берег, якщо припай не утворений принесеним льодом.

За класифікацією, яка враховує умови утворення і кристалічну будову льоду, є чотири групи льоду:

- група А – лід у дуже опріснених водоймах ($S < 2‰$);
- група Б – лід у солонуватих водоймах ($S < 24,7‰$);
- група В – лід морських водойм ($S > 24,7‰$);
- група Г – лід, що утворюється в результаті метаморфічного перетворення.

За умовами утворення виділяють:

- конжеляційний лід, що утворюється при кристалізації води без включення елементів внутрішньоводного льоду;
- конжеляційно-внутрішньоводний лід, що утворився при змерзанні внутрішньоводного льоду;
- водосніжний лід;
- шугувий лід;
- інфільтраційний водно-сніговий лід, що утворюється при витіканні води через тріщини в крижаному покриві, і ін.

За кристалічною будовою виділяються три типи льоду:

- призматичний;
- волокнистий;
- зернистий.

Перші два типи характерні тільки для конжеляційного льоду, третій тип може спостерігатися як у конжеляційного льоду, так і у інших видів льоду. Насправді, крижаний покрив не складається цілком із льоду якоїсь певної структури. Залежно від умов льодоутворення товщі льоду відбувається або плавний, або стрибкоподібний перехід від однієї структури до іншої.

Призматичний тип найбільш поширений у природних водоймах з ізотермічним режимом, волокнистий – у морських водоймах при ізотермічному режимі.

При призматичній структурі льоду, розвиток кристалів відбувається, в основному, в напрямі оптичних осей. Кристали мають вигляд призм, зрізаних пірамід, голок і т.д. Кристали розташовуються вертикально, вони великі за розміром. Форма кристалів у опріснених водоймах правильна. У солоніших водоймах із менш стійкою стратифікацією форма кристалів неправильна.

Для льоду волокнистої структури характерне зростання кристалів вертикально в напрямі однієї із побічних осей, яка співпадає з напрямом температурного градієнта. Оптичні осі кристалів горизонтальні. Кристали волокнистого типу складаються з великого числа крижаних пластинок (волокон) завтовшки 0,6...1,2 мм.

Розміри кристалів змінюються від 3...10 до 90...100 мм у поперечному розрізі і досягають іноді 1...2 м за вертикаллю.

За розміром розрізняють такі види кристалів:

- мікрозернисті кристали (0,05...0,1 см);
- дрібнозернисті (0,1...0,5 см);
- середньозернисті (0,5...1,0 см);
- грубозернисті (> 1,0 см).

Напрямок зростання кристалів і їх форма, а, отже, і структура льоду залежать від умов льодоутворення, тобто, від зовнішніх умов.

Питання до десятого розділу

1. Яка величина називається солоністю морської води?
2. Яка кількість мінеральних речовин у річках і озерах?
3. Який газовий режим озер, річок, морів?
4. Як впливає температура води на її густину (щільність)?
5. Які основні елементи хвилі?
6. Назвіть параметри хвиль на різних водоймах.
7. Які бувають течії у водоймах?

8. За рахунок чого відбувається коливання рівня води у водоймах?
9. Наведіть класифікацію природного льоду.
10. Яких розмірів бувають кристалики льоду?

ДОДАТОК

1. Розрахунок водного балансу озера і водосховища

Задача №1

Розрахувати водний баланс озера для даних наведених в табл. 1.

Таблиця 1

Прихід		Витрати		
Стік із басейну в озеро, W , тис. м^3	Опади на загальну поверхню озера, X , мм.	Середньорічні витрати води з озера, Q , $\text{м}^3/\text{с}$.	Підземний стік із озера, Q_n , $\text{м}^3/\text{с}$.	Витрата води на зрошення, $W_{\text{зрош}}$, тис. м^3 .
700732	398	1,41	2,5	65229

Необхідно визначити випаровування води з озера.

Розв'язок

Рівняння водного балансу озера має такий вигляд:

$$Y + X = Z + y + U \quad (1.1)$$

а) шар стоку в озеро розраховують за формулою:

$$h = W/F \cdot 10^3 = 700732 / 1416 \cdot 10^3 = 565 \text{ мм} \quad (1.2)$$

б) модуль стоку з озера розраховують за формулою:

$$M_o = Q \cdot 1000/F = 1,41 \cdot 1000/1416 = 0,99 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2 \quad (1.3)$$

де Q – середньорічні витрати води з озера, $\text{м}^3/\text{с}$;

F – площа озера, км^2 ;

W – стік із басейну в озеро, тис. м^3 .

в) шар стоку з озера розраховують за формулою:

$$y = h = 31,5 \cdot M_o = 31,5 \cdot 0,99 = 31 \text{ мм} \quad (1.4)$$

г) модуль підземного стоку з озера становить:

$$M_n = Q_n \cdot 1000/F = 2,5 \cdot 1000/1416 = 1,76 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2 \quad (1.5)$$

де Q_n – підземний стік із озера, $\text{м}^3/\text{с}$;

F – площа озера, км^2 .

д) шар підземного стоку становить:

$$U = h = 31,5 \cdot M_n = 31,5 \cdot 1,76 = 55 \text{ мм} \quad (1.6)$$

е) шар стоку відібраний з озера на зрошення становить:

$$h_{\text{зр}} = W_{\text{зрош}}/F \cdot 10^3 = 65229 \cdot 10^3/1416 \cdot 10^3 = 46 \text{ мм} \quad (1.7)$$

де $W_{\text{зрош}}$ – витрата води на зрошення, тис. м^3 ;

F – площа озера, км^2 .

Тоді, стік води в озеро з урахуванням шару води на зрошення становить:

$$Y = h - h_{\text{зр}} = 565 - 46 = 519 \text{ мм} \quad (1.8)$$

де h – шар стоку в озеро (за формулою (1.2)), мм;

$h_{\text{зр}}$ – шар стоку відібраний із озера на зрошення, мм

(1.7).

Підставляючи одержані дані в рівняння (1.1) одержимо:

$$519 + 398 = Z + 31 + 55 \quad (1.9)$$

Із рівняння (1.9) знаходимо невідому величину випаровування:

$$Z = 519 + 398 - 31 - 55 = 831 \text{ мм} \quad (1.10)$$

Тобто, випаровування води з поверхні озера становить 831 мм.

Контрольне завдання №1

Скласти рівняння водного балансу озера для вихідних даних, які наведені в табл. 2.

Таблиця 2.

№ з/п	Стік басейну в озеро, W , тис. m^3	Опади на загальну поверхню озера, X , мм	Середньорічні витрати води з озера, Q , m^3/c	Підземний стік із озера, $Q_{п}$, m^3/c	Витрати води на зрошування, $W_{зр}$, тис. m^3	Площа поверхні озера F_1 , km^2
1	715832	393	0,92	2,3	62595	1500
2	827343	403	1,16	2,3	63948	1200
3	949832	388	1,90	2,8	68767	1090
4	709922	408	1,64	2,6	65605	850
5	850149	298	1,07	2,5	61400	420
6	705500	410	1,85	2,4	62800	120
7	910172	405	0,99	2,7	64845	58
8	875134	308	1,75	2,55	62100	145
9	950314	350	1,51	2,69	67300	530
10	750764	378	1,18	2,39	64859	810
11	745950	415	1,29	2,45	62200	1210
12	910100	379	1,65	2,37	64345	1350
13	810000	350	0,99	2,49	67100	1410
14	713450	400	1,57	2,31	66500	750
15	890320	299	1,61	2,55	64950	435
16	800100	382	1,25	2,43	62500	750
17	710500	407	1,09	2,29	63100	1020
18	770005	395	1,24	2,73	63850	1430
19	910000	299	1,45	2,64	64900	1270
20	812000	415	0,93	2,3	62500	1370
21	754320	541	1,32	2,43	63291	895
22	865432	453	1,14	2,54	54789	451

23	777740	350	0,98	2,12	65431	1105
24	876541	401	1,54	2,88	67003	650
25	900345	451	1,52	2,22	61545	1000
26	650000	500	1,25	2,44	52123	890
27	711450	344	1,11	2,45	65345	790
28	689123	432	0,87	2,65	52347	1465
29	964000	352	1,25	2,24	54679	987
30	689134	312	1,46	2,34	61986	1046

2. Розрахунок норми стоку на основі матеріалів гідрометричних спостережень

Розрахунок норми стоку приведений у вигляді багаторічної витрати води визначається за формулою:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n} \quad (2.1)$$

де $\sum_{i=1}^n Q_i$ – сума середньорічних витрат води за період n років, $\text{м}^3/\text{с}$.

Задача №2

Розрахувати норму стоку на площі басейну річки $F=167800 \text{ км}^2$, при нормі опадів для басейну річки $X_0=623 \text{ мм}$, та сумарних середньорічних витрат $92100 \text{ м}^3/\text{рік}$ для $n=55$ років спостережень, якщо коефіцієнт варіації середньорічних витрат $C_0=0,19$.

Розв'язок:

1) Середні багаторічні витрати води становлять:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n} = \frac{92100}{55} = 1680 \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.2)$$

Середній багаторічний модуль стоку розраховується за такою формулою:

$$M_0 = Q_0 \cdot 10^3/F = 1680 \cdot 10^3/167700 = 10,0119 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2, \quad (2.3)$$

де F – площа басейну річки, км^2 .

2) Об'єм середнього багаторічного стоку становить:

$$W_0 = Q_0 \cdot 31,5 \cdot 10^6 = 52920 \cdot 10^6 \text{ м}^3, \quad (2.4)$$

де $31,5 \cdot 10000^3$ – число секунд в році ($86400 \cdot 365$).

3) Шар стоку води з річки становить:

$$H_0 = W_0/F \cdot 10^3 = 52920 \cdot 10^6/167800 \cdot 10^3 = 315 \text{ мм}, \quad (2.5)$$

де F – площа басейну річки, км^2 ;

W_0 – об'єм середньорічного стоку, м^3 .

4) Коефіцієнт середнього багаторічного стоку розраховують за такою формулою:

$$\eta_0 = h_0/X_0 = 315/623 = 0,51, \quad (2.6)$$

де X_0 – норма опадів для басейну річки, мм .

5) Оцінка ступеня точності одержаної норми стоку проводиться за формулою:

$$\sigma_0 = \frac{100 \cdot C_0}{\sqrt{n}} = \frac{100 \cdot 0,19}{\sqrt{55}} = 2,56\% \quad (2.7)$$

де C_0 – коефіцієнт варіації стоку;

n – кількість років спостережень за нормою стоку в річці, років

Контрольне завдання №2

Розрахувати норму стоку річки згідно з експериментальними даними, наведеними в табл. 3.

Таблиця 3.

№ з/п	Середньорічні витрати води $\text{м}^3/\text{рік}$	Норма опадів, X_0 , мм	Площа басейну річки, F , км^2	Коефіцієнт варіації стоку, C_0	Кількість років спостережень, n , років
1	17000	623	167800	0,15	20
2	18800	514	157000	0,19	29
3	15400	610	132000	0,17	31
4	16300	585	144725	0,16	42
5	15100	613	112384	0,19	35
6	19400	528	147134	0,14	24
7	16600	605	123420	0,13	45

8	16500	548	159750	0,18	21
9	14800	601	165100	0,15	27
10	17400	594	148535	0,14	35
11	25100	498	159300	0,16	40
12	35900	645	163100	0,14	39
13	45000	475	142500	0,13	28
14	38900	643	135400	0,12	36
15	50100	559	161200	0,17	34
16	75300	527	15125	0,18	38
17	89550	637	12350	0,19	45
18	65400	585	16120	0,14	49
19	39150	475	15945	0,13	51
20	19500	612	12790	0,12	55

3. Розрахунок норми стоку річки за допомогою емпіричних формул

Задача №3

Розрахувати норму стоку річки за допомогою емпіричних формул Великанова-Соколовського, Полякова, Кузіва для таких вихідних даних:

1. Площа басейну річки, $F = 69130 \text{ км}^2$;
2. Середня багаторічна величина дефіциту вологості, $d_0 = 2,85 \text{ м}$;
3. Середня багаторічна кількість опадів, $X_0 = 2,85 \text{ мм}$;
4. Коефіцієнт ізоліній, $k = 0,84$;
5. Коефіцієнт випаровування, $a = 0,000530$.

Розв'язок:

1) Коефіцієнт стоку за формулою Великанова-Соколовського становить:

$$\eta = 1 - \sqrt{\frac{d_0}{4,8}} = 1 - \sqrt{\frac{2,85}{4,8}} = 0,23 \quad (3.1)$$

де d_0 – середня багаторічна величина дефіциту вологості, мм.

2) Норма стоку становить:

$$h_0 = X_0 \cdot \eta = 502 \cdot 0,23 = 115 \text{ мм}, \quad (3.2)$$

де X_0 – середня багаторічна кількість опадів, мм;

η – коефіцієнт стоку за формулою (3.1)

3) Коефіцієнт стоку за формулою Полякова становить:

$$\eta_1 = k \cdot \left(\frac{9}{d_0^2} + 9 \right) = 0,84 \cdot \left(\frac{9}{2,85^2} + 9 \right) = 0,234 \quad (3.3)$$

де k – коефіцієнт ізоліній;

d_0 – дефіцит вологості, мм.

4) Норма стоку становить:

$$h_0 = \eta_1 \cdot X_0 = 0,234 \cdot 502 = 118 \text{ мм}, \quad (3.4)$$

де η_1 – коефіцієнт стоку за формулою (3.3);

X_0 – кількість опадів, мм

5) Коефіцієнт стоку за формулою Кузіна становить:

$$\eta_2 = 1 - X_0 \cdot a \cdot d_0 = 1 - 502 \cdot 0,000530 \cdot 2,85 = 0,24, \quad (3.5)$$

де a – коефіцієнт випаровування;

X_0 – кількість опадів, мм;

d_0 – середня багаторічна величина дефіциту вологості, мм.

6) Норма стоку становить:

$$n_0 = \eta_2 \cdot X_0 = 0,24 \cdot 502 = 120 \text{ мм}, \quad (3.6)$$

де η_2 – коефіцієнт стоку за формулою (3.5);

X_0 – кількість опадів, мм.

Контрольне завдання №3

Розрахувати норму (шар) стоку річки за допомогою емпіричних формул Великанова – Соколовського, Полякова, Кузіна для таких вихідних даних, які наведені в табл. 4.

Таблиця 4

№ з/п	Площа басейну річки, F , км ²	Дефіцит вологості повітря, d_0 , мм	Середня багаторічна кількість опадів, X_0 , мм	Коефіцієнт ізоляції, k	Коефіцієнт випаровування, a
1	70231	2,9	502	0,85	0,00055
2	65275	2,5	607	0,89	0,00058
3	60739	2,85	495	0,80	0,00059
4	72185	2,43	507	0,79	0,00054
5	71532	2,9	503	0,85	0,00057
6	74142	2,7	505	0,70	0,00055
7	70405	2,65	501	0,85	0,00056
8	70397	2,9	480	0,75	0,00059

9	64488	2,45	502	0,84	0,00057
10	72582	2,83	606	0,78	0,00053
11	70500	2,61	450	0,81	0,00052
12	63250	2,55	509	0,75	0,00058
13	61440	2,74	550	0,84	0,00054
14	64320	2,80	601	0,79	0,00055
15	69500	2,89	508	0,86	0,00051
16	70100	2,52	490	0,79	0,00053
17	73450	2,45	610	0,84	0,00059
18	65250	2,75	535	0,82	0,00058
19	72500	2,53	499	0,90	0,00057
20	70950	2,8	595	0,85	0,00054
21	64530	2,85	540	0,84	0,00053
22	68900	2,79	632	0,78	0,00056
23	76000	2,82	609	0,81	0,00054
24	73000	2,84	543	0,87	0,00056
25	75120	2,58	654	0,85	0,00057
26	72100	2,75	603	0,82	0,00055
27	76450	2,64	599	0,86	0,00052
28	79432	2,45	681	0,79	0,00056
29	71134	2,74	609	0,81	0,00051
30	70950	2,80	595	0,85	0,00054

4. Розрахунок кількості наносів, що відкладаються за рік у ставку, розташованого на потічку, і встановлення терміну замулення ставка.

Задача №4

Розрахувати кількість наносів, що відкладаються за рік в ставку, розташованого на потічку, і встановити термін його замулення для таких вихідних даних:

- 1) Площа потічка $F = 18,5 \text{ км}^2$;
- 2) Ухил поверхні басейну $i = 0,00015$;
- 3) Норма стоку $M_0 = 4,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$
- 4) Мертвий об'єм ставка $W_m = 82 \cdot 10^3 \text{ м}^3$;
- 5) Ерозійний коефіцієнт $\alpha = 2,0$;
- 6) Коефіцієнт механічного складу ґрунтів $a = 0,5$;
- 7) Об'ємна вага наносів $\gamma_1 = 0,68 \text{ т/м}^3$;
- 8) Умовна об'ємна вага наносів $\gamma_2 = 1,5 \text{ т/м}^3$;

Розв'язок:

1) Середньорічну каламутність води в потічку визначають за формулою:

$$\rho = \alpha \cdot a \sqrt{i \cdot 10^5} = 2,0 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,00015 \cdot 10^5} = 122 \text{ г/л} \quad (4.1)$$

де α – ерозійний коефіцієнт;

a – коефіцієнт механічного складу ґрунтів;

i – ухил поверхні басейну ставка.

2) Середня вага річного стоку зважених наносів розраховується за такою формулою:

$$P = \rho \cdot \frac{M_0 \cdot F}{1000} \cdot 31,5 = 122 \cdot \frac{4,0 \cdot 18,5}{1000} \cdot 31,5 = 284,4 \text{ т} \quad (4.2)$$

де M_0 – модуль стоку, л/с·км²;

F – площа потічка, км²;

ρ – каламутність води в потічку, г/л.

3) Об'єм стоку зважених наносів визначається за формулою:

$$V_B = P / \gamma_1 = 284,4 / 0,68 = 418,2 \text{ м}^3, \quad (4.3)$$

де P – вага зважених наносів, т;

γ_1 – умовна об'ємна вага наносів, т/м³;

4) Повний об'єм наносів, (з врахуванням донних) які приносяться потічком в ставок, розраховується за формулою:

$$V = V_B (1 + \beta / \gamma_2) = 418,2 (1 + 0,10 / 1,5) = 446 \text{ м}^3, \quad (4.4)$$

де β – відношення донних наносів до маси зважених наносів, $\beta = 0,001 / 0,1$;

γ_2 – умовна об'ємна вага донних наносів, т/м³.

5) Термін замулення ставка визначається за такою залежністю:

$$n = W_m / (V + V_{н.б.}) = 82 \cdot 10^3 / (446 + 0) = 183,8 \text{ років} \quad (4.5)$$

де W_m – мертвий об'єм озера, м³;

V – повний об'єм наносів, які приносяться річкою, м³;

$V_{н.б.}$ – об'єм відкладень підмивання берегів, м³.

В нашому випадку береги озера порослі травою і чагарниками, тому

$$V_{н.б.} = 0 \text{ м}^3.$$

Контрольне завдання №4

Розрахувати кількість наносів, що відкладаються за рік у ставку, що розташований на потічку, і встановити термін замулення ставка для даних, які наведені в табл. 5.

Таблиця 5.

№ з/п	Площа потічка, F , км ²	Норма стоку (модуль стоку) M_0 , л/с·км ²	Ухил поверхні ставка, i , °	Ерозійний коефіцієнт, α	Коефіцієнт механічного складу, a	Об'ємна вага наносів γ_1 , т/м ³	Мертвий об'єм озера, W_m , м ³
1	10	3,0	0,00016	2,0	0,50	0,6	$8 \cdot 10^3$
2	8,0	3,5	0,00015	2,2	0,55	0,75	$7 \cdot 10^3$
3	12	3,9	0,00017	2,5	0,45	0,65	$5 \cdot 10^3$