



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

**Національний університет водного господарства
та природокористування**

П.Д. Сливка, О.П. Будз

Водогосподарські розрахунки



Національний університет
водного господарства
та природокористування
Навчальний посібник

**Для студентів напрямку підготовки
6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища
та збалансоване природокористування»**

Рівне 2010



Національний університет

водного господарства та природокористування

УДК 627.142(073)

ББК 26.22я 7-6

С47

*Затверджено вченою радою Національного університету
водного господарства та природокористування .
(Протокол №3 від 26 березня 2010р.)*

Рецензенти:

Лазарчук М. О., доктор техн. наук, професор НУВГП;

Корбутяк М.В., кандидат географічних наук, доцент НУВГП.

Сливка П.Д., Будз О. П.

С47 Водогосподарські розрахунки: Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. - 78 с.

Навчальний посібник містить програму, конспект лекцій, методичні вказівки щодо вивчення окремих тем, план практичних занять, зміст розрахунково-графічної роботи, список рекомендованої літератури, яка може бути використана при самостійному вивченні дисципліни в умовах кредитно-трансферної системи організації навчального процесу студентами напрямку підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» вищих навчальних закладів.

УДК 627.142(073)

ББК 26.22я 7-6

© Сливка П.Д., Будз О. П., 2010

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2010



Передмова

З давніх часів річки використовувалися як шляхи сполучення, джерело електроенергії, для зрошення земель, водопостачання та обводнення. Використання стоку річок ускладнюється в зв'язку з його нерівномірним розподілом в часі та по території. В зв'язку з цим виникає необхідність в регулюванні стоку. У вузькому понятті під регулюванням стоку розуміють перерозподіл природного стоку за допомогою водосховищ. Комплекс розрахунків, пов'язаних з регулюванням стоку називається водогосподарськими розрахунками.

Вихідними даними для виконання водогосподарських розрахунків є гідрологічні розрахунки для відповідної річки в певному створі та хронологічний графік використання річкового стоку різними галузями народного господарства.

Метою навчальної дисципліни «Водогосподарські розрахунки» є вивчення видів регулювання стоку та методів їх розрахунків.

Студент повинен знати:

- задачі та методи водогосподарських розрахунків;
- типи, параметри та характеристики водосховищ;
- види регулювання стоку.

Студент повинен вміти:

- побудувати топографічні характеристики водосховища;
- обчислити втрати води із водосховища;
- визначити параметри водосховища при сезонному та багаторічному регулюванні стоку.



Частина I. Програма навчальної дисципліни „Водогосподарські розрахунки”

1.1. Опис предмета навчальної дисципліни

Таблиця 1

Денна форма навчання

Курс: підготовка бакалаврів, спеціалістів, магістрів	Напрям, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
1	2	3
Кількість кредитів, відповідних ECST-3	6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»	За вибором ВНЗ
Модулів —1		Рік підготовки: 3 ^й Семестр 5
Змістових модулів - 1		Лекції— 20 год. Практичні — 20год.
Загальна кількість годин — 108		Самостійна робота – 56 год.
Тижневих годин: аудиторних – 2, СРС- 2	Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	ІНДЗ-виконання РГР-12 Вид контролю: залік

продовження табл. 1

Заочна форма навчання

1	2	3
Кількість кредитів, відповідних ECST-3	6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»	За вибором ВНЗ
Модулів —1		Рік підготовки: 4 ^й Семестр 7
Змістових модулів - 1		Лекції— 6 год. Практичні — 4 год.
Загальна кількість годин — 108		Самостійна робота – 86 год.
	Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	ІНДЗ-виконання РГР-12 Вид контролю: залік



1.2. Тематичний план та розподіл навчального часу

Таблиця 2

Денна форма навчання

Назви тем змістових модулів	Лекції	Практичні заняття	Індивідуальна робота	Самостійна робота	Ра-зом
1	2	3	4	5	6
Тема 1. Розрахункові величини річкового стоку	2	2		2	6
Тема 2. Поняття про регулювання стоку	2	-		4	6
Тема 3. Водосховища	2	2	2	4	10
Тема 4. Втрати води із водосховища	2	2	2	4	10
Тема 5. Мертвий об'єм водосховища	2	2	2	6	12
Тема 6. Сезонне регулювання стоку	4	6	4	16	30
Тема 7. Багаторічне регулювання стоку	4	4	2	12	22
Тема 8. Трансформація паводків та повеней водосховищем	2	2		8	12
Всього:	20	20	12	56	108

Заочна форма навчання

1	2	3	4	5	6
Тема 1. Розрахункові величини річкового стоку		2		4	6
Тема 2. Поняття про регулювання стоку	2			4	6



продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6
Тема 3. Водосховища			2	8	10
Тема 4. Втрати води із водосховища		2	2	8	12
Тема 5. Мертвий об'єм водосховища			2	10	12
Тема 6. Сезонне регулювання стоку	2		4	26	32
Тема 7. Багаторічне регулювання стоку	2		2	16	20
Тема 8. Трансформація паводків та повеней водосховищем				10	10
Всього:	6	4	12	86	108

1.3. Методи оцінювання знань

Для визначення рівня засвоєння студентами навчального матеріалу використовуються такі методи оцінювання знань:

- Поточне (усне) опитування
- Написання контрольних робіт (тестів)
- Виконання розрахункової роботи
- Залік.

Для діагностики знань використовується модульна рейтингова система зі 100-бальною шкалою оцінювання.

1.4. Розподіл балів, які оцінюють роботу студента

Модуль 1: поточне тестування							
Номер теми							
1	2	3	4	5	6	7	8
Максимальна кількість балів за вивчення теми							
10	10	10	10	10	25	15	10
100							



Шкала оцінювання в КМСОНП та ECTS

- 90 — 100 балів — (A) зараховано;
- 81 – 89 балів — (B) зараховано;
- 74 – 81 бал (C) зараховано;
- 64 – 73 бали — (D) зараховано;
- 60 – 63 бали – (DE) зараховано;
- 35 — 59 балів (FX) не зараховано;
- 1 — 34 балів — (F) не зараховано.

1.5. Програмний матеріал змістового модуля

Тема 1. Розрахункові величини річного стоку

Обчислення норми річного стоку, річного стоку заданої забезпеченості та розрахунки внутрішньорічного розподілу стоку при відсутності даних спостережень.

Тема 2. Поняття про регулювання стоку

Загальні поняття про регулювання стоку. Забезпеченість водовіддачі при регулюванні стоку. Види регулювання стоку.

Тема 3. Водосховища

Типи, параметри та характеристики водосховищ.

Тема 4. Втрати води із водосховища

Втрати води на випаровування, фільтрацію та льодоутворення. Заходи по зменшенню втрат води із водосховищ.

Тема 5. Мертвий об'єм водосховища

Вимоги що пред'являються до мертвого об'єму водосховища. Розрахунок мертвого об'єму водосховища.

Тема 6. Сезонне регулювання стоку

Табличні розрахунки сезонного регулювання стоку без врахування та із врахуванням втрат води із водосховища.



Тема 7. Багаторічне регулювання стоку

Сезонна та багаторічна ємність водосховища, методи їх розрахунку. Врахування втрат при розрахунках багаторічного регулювання стоку.

Тема 8. Трансформація паводків та повеней водосховищем

Ємності водосховища що приймають участь в трансформації паводків та повеней. Наближені та детальні методи розрахунків.

Частина II. Конспект лекцій та методичні рекомендації до вивчення окремих тем дисципліни

Тема 1. Розрахункові величини річного стоку

Розрахунковими величинами річного стоку є: норма річного стоку, річний стік заданої забезпеченості та внутрішньо річний розподіл стоку. Розглянемо визначення цих величин при відсутності даних спостережень.

Розрахунок норми річного стоку при відсутності даних спостережень

Якщо дані спостережень за стоком відсутні, або є короткий ряд спостережень (менше 10 років), тоді норму річного стоку визначають:

- за картою ізоліній середнього багаторічного стоку;
- за гідрологічною аналогією, інтерполюючи величини стоку між опорними створами (пунктами);
- за емпіричними регіональними формулами (районними залежностями).

Всі ці методи виходять з рівняння водного балансу річкових басейнів і ґрунтуються на географічній інтерполяції стоку.

Карти норми стоку будують в модулях або шарах стоку. При їхній побудові величину норми відносять до центра басейну, на якому цей стік формується. Ізолінії стоку проводять інтерполяцією між нанесеними на карту значеннями багаторічного стоку.



Для території України побудовані карти середньорічного стоку річок (додаток 1), а також коефіцієнта його варіації (додаток 2) за даними спостережень в 615 пунктах.

Коефіцієнт асиметрії річного стоку встановлюють за співвідношенням цього параметра з коефіцієнтом варіації для річок-аналогів (табл. 3), а в разі відсутності надійних аналогів приймають $C_S = 2C_V$ для зон надлишкового та змінного зволоження і $C_S = (1,5-1,8)C_V$ для зон недостатнього зволоження.

Таблиця 3

Значення C_S/C_V для річок України

Басейн річки, район	C_S/C_V
Вісла	2,0
Дунай:	
південно-західний схил Карпат	2,0
північно-східний схил Карпат	2,5
Закарпатська низовина	2,5
Дністер:	
північно-східний схил Карпат,	
Передкарпаття	1,5
Подільська височина:	
від р.Верещиці до р.Гнилої Липи	2,0
від р.Золотої Липи до р. Нічлави	2,5
від р. Збруч до р. Ягорлик	3,5
Південний Буг	2,0
Дніпро:	
Десна	3,0
лівобережні притоки, а також правобережні	
притоки вище Росі	2,5
Рось	1,5
Інгулець	2,0
Сіверський Донець	2,5
Оскіл	1,0
Річки Приазов'я	2,5
Річки Криму:	
північно-західний схил	3,5
південно-східний схил	2,0



Для визначення норми стоку за картами ізоліній необхідно оконтурити басейн річки до замикаючого створу і знайти центр його тяжіння.

Для центра тяжіння норму стоку визначають лінійною інтерполяцією між сусідніми ізолініями.

Якщо водозбір перетинають декілька ізоліній, котрі розташовані нерівномірно по площі, то норму стоку визначають як середню зважену величину за виразом

$$M_c = \frac{M_1 f_1 + M_2 f_2 + \dots + M_n f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}, \quad (1)$$

де M_i – середнє значення модуля між сусідніми ізолініями; f_i – площі водозбору між цими ізолініями.

За картами ізоліній рекомендується визначати норму стоку для річок з площами водозборів, що не перевищують 50000 км², а при відсутності різких змін в рельєфі і кліматичних умов - і з більшими площами. При визначенні норми стоку за картами ізоліній стоку для малих водозборів необхідно вносити поправки для врахування місцевих факторів.

У степовій частині України в норму стоку малих річок потрібно вводити уточнюючі коефіцієнти (табл.4).

Таблиця 4

Уточнюючі коефіцієнти до стоку малих річок степової частини України

Райони	Площа водозбору, км ²				
	10	25	50	100	200
Межиріччя:					
Прут-Південний Буг	2,3	1,9	1,6	1,3	1,0
Південний Буг - Молочна	2,7	2,2	1,8	1,4	1,0

Річний стік заданої забезпеченості обчислюється за формулою:

$$Q_p = Q_0 \cdot K_p = Q_0 (\Phi C_V + 1), \quad (2)$$

де Q_p – витрата води забезпеченістю $p\%$; K_p – модульний коефіцієнт забезпеченістю $p\%$; Φ – відносні відхилення ординат кривої



забезпеченості від середини при $C_V=1$ (число Фостера), для біноміальної кривої забезпеченості ці дані наведені в додатку 7.

Внутрішньорічний розподіл стоку при відсутності даних спостережень проводять за аналогією з внутрішньорічним розподілом стоку річок-аналогів та за типовими районними схемами внутрішньо- річного розподілу стоку.

В УкрНДГМІ, під керівництвом Й.Д.Железняка, здійснене районування території України за типами внутрішньорічного розподілу стоку на основі даних 99 постів із тривалістю спостережень більше 20 років (додаток 3).

Всього виділено 16 районів. Відносний розподіл стоку для кожного району для різних по водності років наведено в додатку 4.

Тема 2. Загальні поняття. Види регулювання стоку **Забезпеченість водовіддачі при регулюванні стоку**

Річки України використовуються здавна як шляхи сполучення, джерела водопостачання і гідравлічної енергії, для рибного господарства. Різні галузі водного господарства ставлять і різні вимоги до водних ресурсів.

Найповніше водні ресурси використовуються в комплексі, коли одночасно найдоцільніше та й з найменшими затратами задовільняються вимоги кількох галузей водного господарства.

Склад окремих комплексів визначається тими вимогами, які в даних конкретних умовах ставлять водному господарству галузі народного господарства, що ним обслуговуються. Найчастіше елементами комплексу є водопостачання, гідроенергетика, водний транспорт. До складу багатьох комплексів, крім того, входять зрошення, обводнення, осушення, боротьба із затопленням, рибне господарство тощо. Різні галузі водного господарства неоднаково використовують водні ресурси: одні без прямого споживання води, інші – із забором води з водотоків і лише частковим поверненням її назад у річку. Галузі народного господарства, котрі використовують воду, безпосередньо не використовуючи її як продукт, називаються **водокористувачами**, а ті, що використовують воду як продукт – **водоспоживачами**. До перших належать гідроенергетика, водний



транспорт, рибне господарство; до других – водопостачання, зрошення тощо. Використання водних ресурсів народним господарством ускладнюється не тільки їхньою недостатчею (дефіцитом) в окремих регіонах, а і нерівномірним розподілом природного стоку як у межах року, так і в багаторічному періоді. У зв'язку з цим постає потреба в штучному перерозподілі стоку в часі. Такий перерозподіл природного стоку за допомогою водосховищ та ставків називають **регулюванням стоку**.

Узагалі, в більш широкому понятті, під регулюванням стоку розуміють будь-які заходи, що впливають у тій чи іншій мірі на процеси формування поверхневого та підземного стоку (різні агротехнічні заходи, снігозатримання, лісонасадження). В подальшому під регулюванням стоку будемо розуміти лише його перерозподіл через улаштування регулюючих місткостей (водосховищ, ставків).

Комплекс розрахунків пов'язаний з визначенням елементів балансу припливу і споживання у водосховищах, що проєктуються - називаються **водогосподарськими розрахунками**. Регулювання стоку розв'язує дві основні задачі:

- перша - це збільшення мінімальних витрат;
- друга - це зменшення максимальних витрат.

Збільшення мінімальних витрат потрібне при використанні стоку в народному господарстві. При великих об'ємах водосховищ вирівнювання стоку можна довести до середньої багаторічної витрати.

Зменшення максимальних витрат необхідно при боротьбі з повеннями й паводками на ділянках річок нижче від побудованих водосховищ, або для зменшення розмірів водопропускних споруд, а відповідно і їхньої вартості.

2.1. Види регулювання стоку

В залежності від задач, характеру і складу водокористувачів і водоспоживачів, використовують різні види регулювання стоку, які можна класифікувати за такими основними ознаками:

- призначення регулювання стоку;
- тривалість регулювання стоку;
- ступінь регулювання стоку.



За тривалістю, регулювання стоку розрізняють: добове, тижневе, сезонне, багаторічне та змішане.

Перші два види регулювання стоку відносяться до короткотермінових, бо полягають вони в перерозподілі практично рівномірного стоку річки згідно нерівномірного споживання (водовіддачі).

Добове регулювання стоку

Добове регулювання стоку (рис.1) полягає в перерозподіленні стоку на протязі доби. Воно дає можливість збільшити кількість споживачів за рахунок накопичення води в години з незначним споживанням і використання її під час піків, що веде до зменшення розмірів водозабірних і водопровідних споруд.

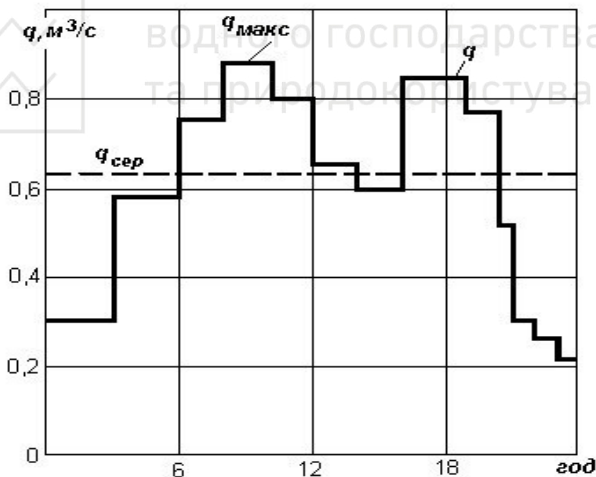
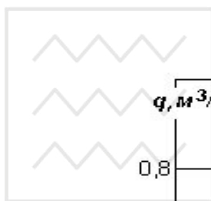


Рис.1. Добове регулювання стоку

Коефіцієнт нерівномірності добового споживання, який показує, у скільки разів збільшується кількість водоспоживачів при добовому регулюванні в порівнянні з нерегульованим стоком, визначається за співвідношенням



$$\eta = \frac{q_{\max}}{q_{\text{сер}}}, \quad (3)$$

де q_{\max} – максимальне споживання на протязі доби; $q_{\text{сер}}$ – середньодобове споживання. Добове регулювання стоку ефективно використовується у водопостачанні, зрошенні та енергетиці. Місткість водосховища визначають співставленням добового графіка споживання із графіком постійної середньої витрати водоспоживання.

Тижневе регулювання стоку

Цей вид регулювання полягає в перерозподілі на протязі тижня (декади) рівномірного притоку відповідно до нерівномірного щоденного споживання, що має місце у зв'язку з наявністю спільних вихідних днів (рис.2). Застосування тижневого регулювання дозволяє використовувати надлишковий стік вихідних днів для підвищення водовіддачі у робочі дні.

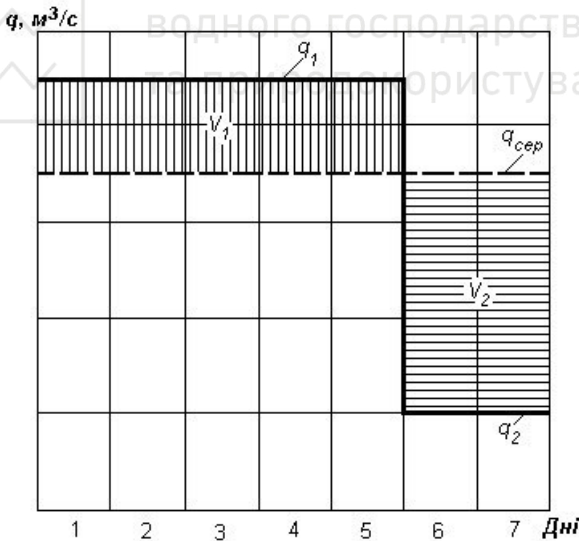


Рис.2. Тижневе регулювання стоку

Середню величину тижневого споживання стоку $q_{\text{сер}}$ визначають за формулою



$$q_{\text{сеп}} = \frac{q_1(N - n) + q_2n}{N}. \quad (4)$$

де q_1 - добове споживання у робочі дні; q_2 - добове споживання у вихідні дні; N - загальна тривалість тижня чи декади в днях; n - кількість вихідних днів.

Перевищення об'єму споживання води в робочі дні над середнім (V_1) дорівнює його надлишку у вихідні дні (V_2).

Для визначення цих об'ємів можемо записати вирази

$$V_1 = (q_1 - q_{\text{сеп}})(N - 2), \quad (5)$$

$$V_2 = (q_{\text{сеп}} - q)n. \quad (6)$$

Підставивши в одну з цих формул значення $q_{\text{сеп}}$, отримаємо потрібну ємність водосховища тижневого регулювання стоку

$$V = n(q_1 - q_2) \frac{N - n}{N}. \quad (7)$$



Довготривалі види регулювання стоку

Сезонне регулювання стоку. Сезонне регулювання стоку полягає у перерозподілі стоку води в річці на протязі сезону або року. Тому таке регулювання інколи називають *річним* (рис. 3).

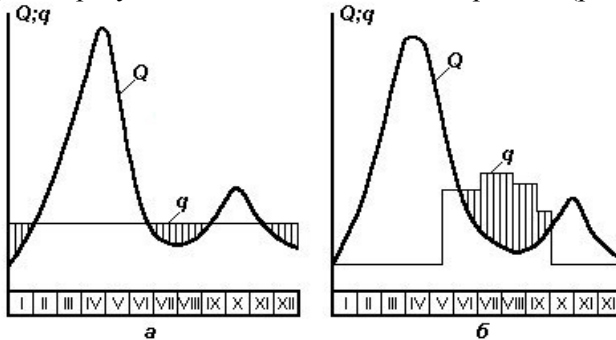


Рис. 3. Сезонне регулювання стоку:

а – на рівномірну віддачу; *б* – на нерівномірну віддачу



При сезонному регулюванні стоку накопичення запасів води в водосховищах проводиться в багатоводні періоди і сезони, а в маловодні періоди, коли навіть всього стоку річки не буде вистачати для покриття дефіциту в стоці, додатково використовуються резерви води накопичені у водосховищі.

Сезонне регулювання стоку використовують тоді, коли сумарний приплив маловодного року розрахункової забезпеченості, перевищує сумарне споживання бруто ($W_P > \Sigma q_{бр}$), але в окремі інтервали споживання перевищує стік річки.

Багаторічне регулювання стоку

При цьому виді регулювання проводиться перерозподіл стоку з багатоводних періодів і років у маловодні. Багаторічне регулювання стоку - найвища і найповніша ступінь регулювання стоку, для такого регулювання потрібні водосховища великої місткості.

Межа багаторічного регулювання - це повне вирівнювання коливань стоку.

Змішане регулювання стоку

Це регулювання використовується для одночасного регулювання стоку періодів різної тривалості одним водосховищем. Тут можливе примінення двох суміжних видів регулювання стоку. Так, поряд із сезонним, можна передбачити багаторічне регулювання, а поряд із тижневим – добове.

За ступенем регулювання стоку розділяють *повне й неповне* регулювання стоку. При повному регулюванні стоку використовується весь стік річки і водосховище працює без скидів.

При неповному регулюванні стоку використовується лише частина стоку річки, а друга частина пропускається транзитом через водосховище.

Неповне регулювання стоку відбувається тоді, коли сумарний об'єм притоку більший за сумарний об'єм водоспоживання, або коли місткість водосховища недостатня для повного зарегулювання стоку відповідно до споживання.

2.2. Забезпеченість водовіддачі при регулюванні стоку

Стік річок, який використовується для потреб різних галузей народного господарства, коливається іноді у великих межах.



Регулюванням стоку ці коливання зменшуються. Однак, щоб зовсім їх усунути, потрібні водосховища дуже великих розмірів. Створення таких водосховищ пов'язане з великими матеріальними затратами на будівництво гребель та інших гідротехнічних споруд, із затопленням земель та перенесенням населених пунктів, а інколи стає неможливим у зв'язку з рельєфом та геологічною будовою місцевості. Тому всі водогосподарські установки (комплекс споруд) проектують і будують із розрахунку на якийсь наперед установлений ступінь надійності або гарантію їхньої безперебійної роботи в заданому режимі.

При регулюванні стоку на підвищення мінімальних витрат річки, порушення прийнятого режиму пов'язане із зменшенням водовіддачі, порівняно з гарантованою величиною. Такі порушення гарантованого режиму називаються *перебоями*. Коли ж ідеться про величину максимальної витрати, яка прийнята для розрахунку пропускної спроможності створів гідротехнічних споруд, порушення режиму пов'язується з *перевищенням* розрахункової витрати.

У практиці водогосподарських розрахунків гарантійність водовіддачі оцінюється забезпеченістю за числом безперебійних років. При забезпеченості, наприклад, 97%, число перебіжних років становить 3%. Тобто для 30-40-річного періоду допускається в середньому лише один перебіжний рік.

Норми забезпеченості, що приймаються при проектуванні, приймають у таких межах:

- а) об'єкти спеціального призначення – до 99%;
- б) крупні промислові центри та окремі підприємства, в тому числі теплові електростанції – 97% і більше;
- в) невеликі міста і населені пункти, дрібні промислові підприємства – 95%;
- г) гідроелектростанції, коли споживачами енергії є: великі промислові підприємства й міста - 85-95%; невеликі промислові підприємства і комунальне господарство малих міст та сіл - 75-85%;
- д) зрошення сільськогосподарських земель – 75-95%;
- е) водний транспорт - 80-99%;
- є) рибне господарство - 75-95%.

Точніше забезпеченість водовіддачі встановлюється на основі техніко-економічних розрахунків.



3.1. Типи, параметри та характеристики водосховищ

Під *водосховищем* розуміють будь-який достатньо крупний резервуар, в якому тимчасово накопичується вода для наступного її використання.

Розрізняють такі типи водосховищ:

1. Закриті наземні та підземні резервуари. Вони бувають цегляні, бетонні та металеві і використовуються в основному в системі водопостачання промислових підприємств та населених пунктів;

2. Відкриті басейни, котрі влаштовуються у виїмках обвалуванням на горизонтальній або похилій місцевості (рис.4). Вони використовуються на дериваційних ГЕС як басейни для добового регулювання, а також для тимчасового затримання весняного стоку при зрошуванні;

3. Водосховища, що утворюються в долинах річок в результаті будівництва підпірних споруд (гребля, шлюз тощо). Такі водосховища найбільш поширені і мають велике значення для народного господарства.

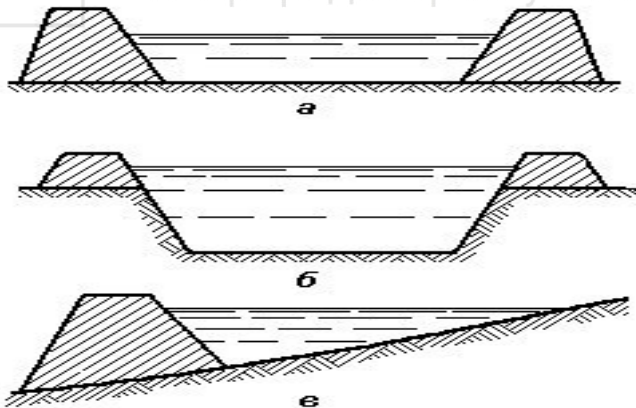


Рис.4. Обваловані водосховища на горизонтальній (а, б) і похилій (е) місцевості



За характером місцевості, де влаштовуються греблі водосховища, вони поділяються на *рівнинні, гірські та передгірських і плоскогірних* районів.

Невеликі водосховища з площею дзеркала менше 1 км^2 або об'ємом менше 1 млн. м^3 називають **ставками**.

На території України нараховують 1094 водосховища. При заповненні їх до *НПГ* сумарна площа водної поверхні становить 11782 км^2 , а загальний об'єм – $58,2 \text{ км}^3$. В Україні є також 27579 ставків сумарною площею 2120 км^2 і повним об'ємом понад 3 км^3 .

Параметри водосховища

До параметрів водосховища відносять нормативні горизонти та об'єми (рис. 5).

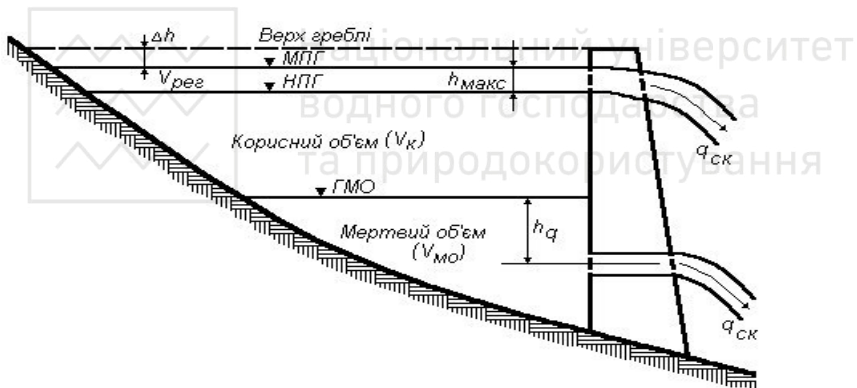


Рис.5. Схематичний поперечний профіль водосховища

1. Горизонт мертвого об'єму – *ГМО*;
2. Нормальний підпірний горизонт – *НПГ*;
3. Максимальний підпірний горизонт – *МПГ* (або горизонт форсування - *ГФ*);
4. Мертвий об'єм водосховища – $V_{мо}$;



5. Корисний об'єм водосховища – V_k ;

6. Повний об'єм водосховища – $V_{пов}$.

Найнижче у водосховищі розташовується мертвий об'єм $V_{мо}$, якому відповідає відмітка $ГМО$. Нижче цієї відмітки водосховище ніколи не спрацьовується. До мертвого об'єму пред'являються загальні та спеціальні вимоги.

До загальних вимог відносяться акумуляція наносів за період експлуатації водосховища та відповідність санітарно-технічним умовам, за якими середня глибина повинна бути не меншою за 1,5-2,5 м, в залежності від зони розташування водосховища.

Спеціальні вимоги, які пред'являються в залежності від призначення водосховища:

- підтримання судноплавних глибин;
- забезпечення мінімального допустимого напору на турбінах

ГЕС;

- забезпечення відмітки $ГМО$ командного положення над зрошувальними площами при безмашинному зрошенні;

- задовільнення умов для рибного господарства.

Над мертвим об'ємом розташовується корисний об'єм водосховища V_k , що заповнюється в багатоводні періоди та спрацьовується в маловодні. Йому відповідає нормальний підпертий горизонт ($НПГ$). Об'єм води між $ГМО$ і $НПГ$ називають ще розрахунковим, або робочим об'ємом. Він повинен забезпечити корисне споживання та втрати води із водосховища. Мертвий і корисний об'єми разом становлять повний об'єм водосховища ($V_{пов} = V_{кор} + V_{мо}$).

Над відміткою $НПГ$ розташований об'єм форсування V_f , який призначається для пропускання повеней та паводків з метою зниження максимальних скидних витрат. Цьому об'ємові відповідає відмітка максимального підпертого горизонту ($МПГ$) або горизонту форсування ($ГФ$).

Характеристики водосховища

До характеристик водосховища відносять: топографічні (висотні), об'ємні та вартісні.



характеристики водосховища виражають залежність площі водного дзеркала (ω), об'єму води (V) і середньої глибини ($h_{сер}$) від горизонту води в водосховищі (H)

Основою для побудови таких характеристик є крупномасштабні топографічні карти чаші водосховища.

При цьому площі визначають планіметром на топографічних картах ділянок, обмежених горизонталями і лінією поздовжньої осі підпірної греблі, що замикає горизонталі. Вимірювання проводять для всіх горизонталей до найвищого значення підпору. Поверхню води при цьому вважають горизонтальною.

Для побудови кривих $V = f(H)$ і $h_{сер} = f(H)$ розраховують об'єми і середні глибини при різних рівнях умовного наповнення водосховища.

Часткові об'єми розраховують за формулою



$$\Delta V = 0,5(\omega_i + \omega_{i+1})\Delta H, \quad (8)$$

або точніше
$$\Delta V = 1/3(\sqrt{\omega_i \omega_{i+1}} + \omega_{i+1})\Delta H, \quad (9)$$

де ω_i і ω_{i+1} - площі дзеркала, обмежені сусідніми горизонталями; ΔH - різниця відміток горизонталей H_i і H_{i+1} .

Величину першого від дна часткового об'єму інколи обчислюють за формулою зрізаного параболоїда

$$\Delta V_1 = 2/3\omega_{i+1} \cdot \Delta H. \quad (10)$$

Додаванням часткових об'ємів, починаючи від нульового наповнення, отримуємо об'єми води в водосховищі для кожної відмітки. За цими даними будують криву $V=f(H)$.

Середня глибина водосховища - це відношення об'єму водосховища до площі водного дзеркала при даному рівні

$$h_{сер} = V / \omega. \quad (11)$$



На топографічні характеристики інколи наносять площу та критерій літоралі.

Площу літоралі (прибережної мілини глибиною до 2м) знаходять як різницю площ водного дзеркала при рівнях, що відрізняються на 2м. **Відносну площу**, або **критерій літоралі**, визначають як відношення площі літоралі (ω_L) до загальної площі водного дзеркала (ω_H) при відповідному рівні води в водосховищі

$$L_{\omega} = \omega_L / \omega_H . \quad (12)$$

Об'ємні та вартісні характеристики

При водогосподарських розрахунках доводиться визначати різні показники водосховища залежно від об'єму води в ньому. Для цього топографічні характеристики перебудовують в об'ємні, тобто рівні води в водосховищі, площі водного дзеркала та середню глибину виражають в залежності від об'єму води в ньому.

Часто на об'ємну характеристику наносять економічні показники: повну вартість водосховища P , та питому вартість p (рис.6).

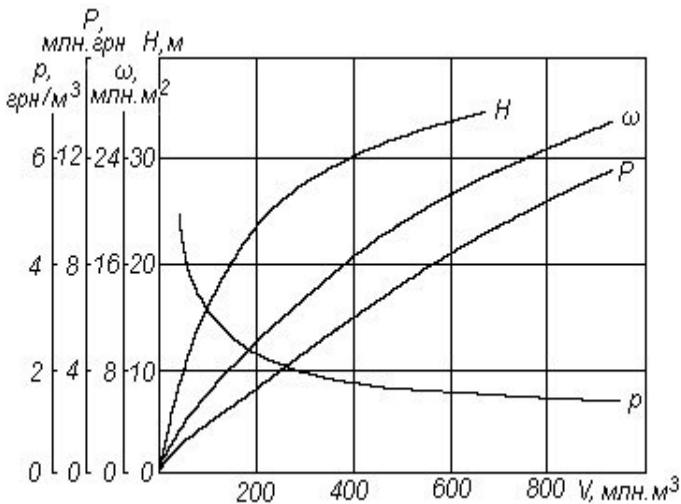


Рис.6. Об'ємні та вартісні характеристики водосховища



Повну та питому вартість водосховища, в залежності від його об'єму, розраховують за укрупненими показниками, користуючись спеціальними нормативними документами.

3.2. Втрати води із водосховища

При розрахунках водосховищ необхідно враховувати, крім корисного споживання, також і втрати води в процесі їхньої експлуатації. Розділяють втрати води на випаровування, фільтрацію та льодоутворення. Якщо дві перші втрати є безповоротними для даного водосховища, то втрати на льодоутворення є тимчасовими, бо після весняного танення льоду вода повертається в водосховище і може бути використана.

Втрати на випаровування

Розрахункове випаровування при проектуванні водосховищ визначають як різницю між випаровуванням з водної поверхні і поверхні з суходолу

$$W_6 = (Z_6 - Z_c)(\Omega - \omega)1000, \quad (13)$$

де W_6 – об'єм втрат на випаровування за розрахунковий інтервал (місяць, рік), м³; Z_6 - шар випаровування з поверхні води, мм; Z_c - шар випаровування з поверхні суходолу, мм; Ω - площа дзеркала водосховища, млн. м²; ω - площа водної поверхні річки до будівництва водосховища, млн. м².

А.В. Огієвський запропонував додаткове середньобагаторічне розрахункове випаровування визначати за формулою

$$Z = Z_6 - H(1 - \alpha_c), \quad (14)$$

де Z_6 - середньобагаторічне випаровування з водної поверхні, мм; H - норма опадів, мм; α_c - коефіцієнт стоку.

Розрахункове випаровування Z_p визначається за формулою

$$Z_p = Z_{100-p} - H_p(1 - \alpha_c), \quad (15)$$

Для визначення річного випаровування з водної поверхні і річних опадів заданої забезпеченості, користуються біноміальною кривою забезпеченості. Приклад розрахунку наведений в роботі [6].



Втрати води на фільтрацію із водосховища

Втрати на фільтрацію із водосховища мають місце :

- через тіло греблі;
- під основами капітальних споруд;
- в обхід споруд при сполученні з берегами;
- через ложе водосховища;
- через нещільність затворів водоскидних споруд.

Найбільші втрати через ложе водосховища мають місце, коли воно побудоване на леководопроникливих ґрунтах і коли водосховище тривалий час тримають заповненим. Найбільші втрати на фільтрацію спостерігаються і при початковому заповненні нового водосховища.

Детальні підрахунки втрат води на фільтрацію виконують з використанням методів теорії руху ґрунтових вод.

При наближених розрахунках втрати на фільтрацію враховують у відсотках від об'єму води в водосховищі в залежності від гідрогеологічних умов району будівництва. Втрати на фільтрацію в залежності від гідрогеологічних умов. Вважають, що добрі гідрогеологічні умови відповідають водонепроникному ложу водосховища та заляганню рівня ґрунтових вод вище *МПП*; середні умови – при малопроникних ґрунтах ложа і коли рівень ґрунтових вод знаходиться вище *ГМО*; погані умови мають місце, коли ложе водосховища складене водопроникними ґрунтами і відбувається відтік води із водосховища на живлення ґрунтових вод.

Втрати на льодоутворення

Втратами води на льодоутворення називають тимчасові запаси води в льодовому покриві.

Об'єм акумульованої в льодовому покриві води обчислюють за формулою

$$W_{\text{л}} = 0,9(\omega_n - \omega_k) \left(\frac{h_n - h_k}{2} \right) 10^{-2} \text{ млн.м}^3, \quad (16)$$

де ω_n і ω_k – площі дзеркала водосховища відповідно на початку і в кінці розрахункового періоду, які визначаються на відмітці нижньої поверхні льоду за топографічними характеристиками водосховища, млн.м³; h_n і h_k – товщина льоду



відповідно на початку і в кінці розрахункового періоду, см; 0,9 – щільність льоду.

Товщина льоду може бути визначена за результатами льдомірного знімання або за емпіричними формулами Ф.І. Бідіна

$$h = 2\sqrt{\Sigma t^\circ}; \quad (17)$$

$$h_m = 11\sqrt{\Sigma T^\circ}, \quad (18)$$

де h і h_m – товщина криги на кінець розрахункового періоду, см; Σt° і ΣT° - суми середньодобових та середньомісячних від'ємних температур повітря, рахуючи з початку льодоутворення.

Товщину льоду під сніговим покривом можна обчислити також за формулою Бідіна-Білоконя

$$h_m = 11\sqrt{\Sigma T^\circ + 2,3}. \quad (19)$$

Якщо є дані про товщину криги на річці, їх слід збільшити на 15%, тобто ввести поправку на відсутність течії у водосховищі.

Заходи по зменшенню втрат води із водосховища та розрахунок мертвого об'єму водосховища

Заходи по зменшенню втрат води із водосховища на випаровування

Ці заходи направлені на зменшення площі водного дзеркала водосховища, на зменшення впливу швидкості вітру, на зменшення температури води на поверхні водосховища та на зменшення дефіциту вологості повітря на території поблизу водосховища.

Зменшення площі дзеркала водосховища досягають за рахунок ізоляції мілководь за допомогою обвалування їх земляними дамбами.

Для зменшення швидкості вітру над дзеркалом водосховища по його периметру висаджують високорослі породи дерев.



Для зниження температури води в літній період передбачають спрацювання верхніх шарів води, де вода найбільш інтенсивно нагрівається.

Для збільшення вологості повітря і, отже, зменшення дефіциту вологості на прилеглих до водосховища землях, застосовують зрошувальні меліорації.

Заходи по зменшенню втрат води на фільтрацію

Заходи по зменшенню втрат води на фільтрацію включають в себе покриття ложа водосховища різними водонепроникними матеріалами (бетон, глинобетон, поліетиленові плівки), створенням малопроникних для води шарів ґрунту (солонцювання, застосування різних дубильних речовин, ущільнення ґрунту, штучний кольматаж ложа). Для зменшення фільтрації через тіло греблі влаштовують спеціальні водонепроникні екрани з глини тощо.

3.3. Розрахунок мертвого об'єму водосховища

Водосховища вносять значні зміни в гідравлічний режим водотоків, зменшують ухил водної поверхні та швидкість течії води, збільшують глибину потоку. За рахунок зменшення швидкості потоку завислі і донні наноси відкладаються в водосховищі.

Процес відкладення наносів і формування тіла замулення залежить від цілого ряду факторів: розміру і конфігурації водосховища, стійкості берегів, режиму стоку, механічного складу відкладів, режиму наповнення і спрацювання водосховища.

Коли є дані про середню багаторічну мутність води ρ_0 , г/м³ (мутність - це кількість твердих мінеральних часток в одиниці об'єму води), то вага завислих наносів у середній за водністю рік визначається за формулою

$$P_0 = \rho_0 Q_0 t, \quad (20)$$



де P_0 - вага завислих наносів, що транспортуються річкою на протязі року, в тонах; ρ_0 - середня багаторічна мутність річкового потоку, г/м³; Q_0 - норма річного стоку, м³/с; t - кількість мільйонів секунд в році (31,56).

Частина завислих наносів проходить транзитом через водосховище і тому вона не приймає участі в замуленні водосховища. Їхня частка, яка в основному залежить від механічного складу і ступеню зарегульованості стоку визначається за формулою

$$\Delta = \varphi(1 - \alpha), \quad (21)$$

де φ - коефіцієнт крупності наносів, що враховує їхній механічний склад, становить: для піщаних ґрунтів – 0,10; для лесоподібних і легкосуглинистих – 0,30; для важкосуглинистих і глинистих – 0,40, α - коефіцієнт зарегульованості стоку запроєктованим водосховищем, який визначається за формулою

$$\alpha = 1,30q_{\text{нетто}} / Q_0, \quad (22)$$

де $q_{\text{нетто}}$ - корисне споживання, м³/с; 1,30 - коефіцієнт, який наближено враховує втрати на випаровування і фільтрацію при експлуатації водосховища.

Крім завислих наносів, в водосховищі відкладаються і донні наноси. Їх враховують наближено як частину від кількості завислих наносів (для рівнинних річок $m = 0,001 - 0,1$; для гірських річок $m = 0,1 - 1,0$).

Отже, вага наносів, які відкладаються в водосховищі за рік його експлуатації становить

$$P' = P_0 - \delta P_0 + m P_0 = P_0(1 - \delta + m). \quad (23)$$

Крім мінеральних відкладів, в водосховищах відкладаються і органічні речовини, котрі утворюються внаслідок відмирання водних рослин і тваринних організмів. Кількість органічних відкладів (e) приймається в залежності від ступеню розвитку водної рослинності (при інтенсивному розвитку водної рослинності -

0,20–0,15; при середній інтенсивності - 0,15–0,10; при слабкій інтенсивності - 0,10 – 0,05).

З врахуванням органічних відкладів, вага наносів, що відклалась в водосховищі за рік його експлуатації, становитиме

$$P'' = (1 - \delta + m)(1 + e')P_0. \quad (24)$$

Об'єм замулення водосховища W_n за розрахунковий період експлуатації становить

$$W_n = \frac{(1 - \delta + m)(1 + e)P_0}{\gamma} T, \quad (25)$$

де T - розрахунковий період роботи водосховища, в роках, γ - об'ємна вага наносів.

Об'ємна вага наносів визначається за аналогією з існуючими водосховищами, або за емпіричною формулою Н.Й. Дрозда

$$\gamma = A/e' + CT + B, \quad (26)$$

де e' - частка органічних відкладів у відсотках, A , B , C - коефіцієнти, що залежать від характеру ґрунтів прилягаючої до водосховища водозбірної площі річки (табл. 5).

Таблиця 5

Значення параметрів A , B і C в залежності від типу ґрунтів

Ґрунти	A	B	C
Піщані	2,30	0,25	0,002
Ґлинисті	2,25	0,35	0,004
Пилуваті	2,00	0,45	0,007

У замуленні водосховища беруть також участь наноси, що утворюються внаслідок перероблення і розмивання берегів в процесі експлуатації водосховища. Об'єм цих наносів може досягати від 10 до 40% розрахованого об'єму наносів.

Кінцевий об'єм наносів, що акумулюється у водосховищі, становить

$$W'_n = W_n + \Delta W_n, \quad (27)$$



де ΔW_n – об'єм наносів, що утворюються внаслідок розмивання берегів водосховища (20-40% від W_n).

Розрахований об'єм перевіряють за топографічними характеристиками на відповідність щодо санітарно-технічних вимог. Якщо при даному об'ємі задовільняються санітарно-технічні вимоги, то його приймають за розрахунковий мертвий об'єм водосховища. В протилежному випадку, за розрахунковий мертвий об'єм приймають об'єм, що відповідає середній глибині 1,5-2,5 м (в залежності від зони розташування водосховища).

Тема 4. Сезонне регулювання стоку

Сезонне регулювання стоку полягає в перерозподілі річкового стоку на протязі року, тому його ще називають сезонно-річним. В багатоводні періоди року вода акумулюється у водосховищі з метою її використання у маловодні періоди.

При розрахунках сезонного регулювання стоку можуть мати місце дві задачі: визначення об'єму водосховища при заданому споживанні і визначення величини можливого споживання при заданому об'ємі водосховища. Розрахунки сезонного регулювання стоку полягають у визначенні балансу припливу та споживання, що здійснюється порівнянням хронологічного графіка припливу води у водосховище та споживання. В залежності від того, у якому вигляді порівнюють приплив та споживання, розрізняють табличні та графічні розрахунки сезонного регулювання стоку.

4.1. Табличні розрахунки сезонного регулювання стоку

При сезонному регулюванні стоку водосховище щорічно спрацьовується до відмітки *ГМО* і наповнюється до *НПГ*. В залежності від характеру припливу та споживання, водосховище на протязі року може декілька разів частково наповнюватись та спрацьовуватись. В зв'язку з цим розрізняють одноктну, двоктну із незалежними та залежними тактами та багатоктну роботу водосховища.

Розглянемо на прикладі хронологічних графіків припливу та споживання тактність роботи та спосіб визначення корисного об'єму водосховища (рис.7).

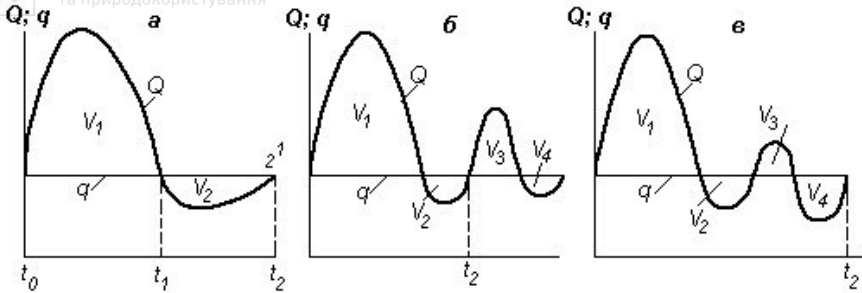


Рис. 7. Схема до визначення тактності водосховища

Однотактна робота водосховища має місце, якщо на протязі року буде лише один період надлишків припливу над споживанням і один період нестач (рис.7а). За корисний об'єм спорожнення водосховища до відмітки ГМО відповідає кінець періоду нестачі (t_2), водосховища приймають об'єм нестачі ($V_k=V_2$). Момент

Якщо на протязі року матимуть місце два періоди надлишків і нестач, то таку роботу водосховища називають двотактною.

Двотактна робота з незалежними тактами буде тоді, коли кожний із надлишків більший за величиною наступних нестач, корисний об'єм у цьому випадку дорівнює більшій із нестач ($V_k=V_2$), а момент спорожнення водосховища (t_2) відповідає кінцю періоду цієї нестачі (рис.7б).

Двотактна робота із залежними тактами матиме місце, коли один із надлишків більший наступної нестачі ($V_1>V_2$), а інший - менший ($V_3<V_4$). Корисний об'єм водосховища в цьому випадку дорівнюватиме сумі двох нестач мінус менший надлишок ($V_k=V_2+V_4-V_3$). Якщо ж його величина буде меншою за більшу із нестач, то величина останньої приймається за корисний об'єм. Момент спорожнення водосховища (t_2) відповідає кінцю періоду нестачі, величина якого більша попереднього надлишку (рис.7в).

Багатотактна робота водосховища може бути із незалежним і залежними тактами. При визначенні корисного об'єму і моменту спорожнення водосховища використовується графічний спосіб (рис.8). Для цього на осі ординат відкладають алгебраїчні суми надлишків і нестач, починаючи з найбільшого надлишку, а на осі абсцис відкладають у масштабі час. З'єднавши прямими лініями



нанесені на координатне поле точки, матимемо ламану лінію, котра покаже чергування та величину надлишків і недостач.

Від будь-якої вершини ламаної проводять вправо лінію до перетину з цією ж ламаною і на цьому відрізку знаходять найнижчу точку. Найбільша вертикальна відстань між горизонтальною лінією і найнижчою точкою і буде представляти собою корисний об'єм водосховища. А момент часу, що відповідає нижчій точці - відповідає моменту спорожнення водосховища до відмітки ГМО.

При розрахунках, при заданому споживанні, необхідно визначити корисний об'єм водосховища з урахуванням втрат води на випаровування та фільтрацію, режим роботи водосховища, повний об'єм водосховища та відмітки НПП.

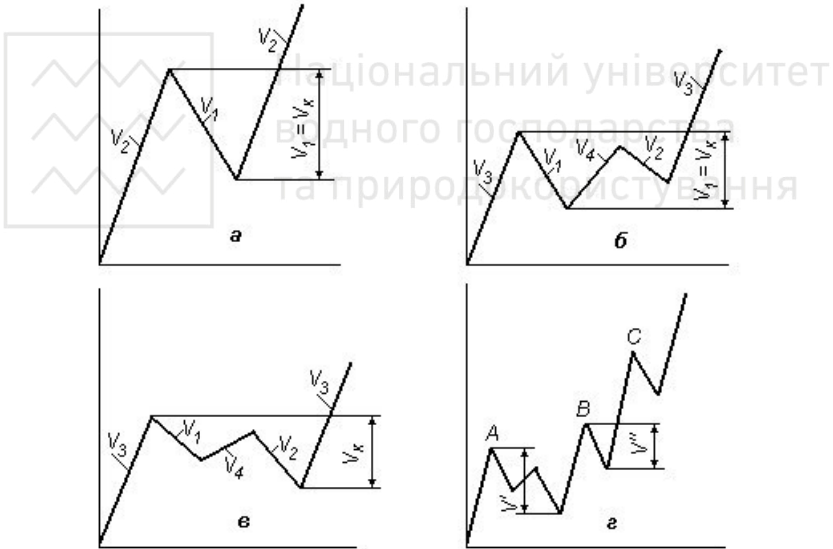


Рис.8. Схема до визначення корисного об'єму водосховища: а – однотактна робота; б - двотактна робота з незалежними тактами; в - двотактна робота з залежними тактами; г - багатотактна робота



Варіанти експлуатації водосховища

При регулюванні стоку, як правило, розрахунковий приплив більший за споживання (виняток становить випадок, якщо об'єм припливу дорівнює об'ємові споживання).

Розпоряджатися надлишком припливу можна в межах двох крайніх варіантів роботи водосховища. За першим варіантом експлуатації водосховище наповнюють відразу після його спорожнення, в результаті чого воно тривалий час є заповненим до *НПГ*. При цьому, розрахунки починають з моменту спорожнення водосховища і ведуть їх зверху вниз, прибавляючи надлишки і віднімаючи недостачі. Якщо при додаванні надлишків отримують величину, що перевищує корисний об'єм, то різницю між цією величиною і корисним об'ємом посилають на скидання.

За другим варіантом експлуатації, водосховище заповнюють в кінці надлишків, тобто якомога пізніше після його спорожнення до відмітки *ГМО*. В цьому випадку розрахунки ведуть знизу вгору, прибавляючи недостачі і віднімаючи надлишки. Якщо при відніманні надлишків отримують від'ємну величину, то її посилають на скидання. Сума скидань в обох випадках повинна дорівнювати різниці між величинами розрахункового припливу та споживання.

Кожен із наведених крайніх варіантів має свої переваги і недоліки.

Перевагою першого варіанту є забезпечення протягом тривалішого періоду більш високих рівнів води у водосховищі, що є суттєвим для гідроенергетики та судноплавства у верхньому б'єфі. Він є більш обережний, бо виключає ризики незаповнення водосховища до проектно-відмітки. Перевагою другого варіанту є можливість промивати водосховище від наносів, пропускаючи через скидні отвори греблі найбільш насичені наносами паводкові води, а також зменшити втрати води із водосховища завдяки меншим об'ємам води в ньому.

Істотним недоліком другого варіанту є ризик не заповнити водосховище, коли приплив буде меншим за розрахунковий.

На практиці, як правило, приймають проміжний варіант режиму роботи водосховища.



заданому споживанні виконують у такій послідовності: спочатку визначають корисний об'єм та режим роботи водосховища без урахування втрат води, а пізніше уточнюють його з урахуванням втрат.

Втрати води на випаровування визначають за формулою

$$W_B = \frac{z \cdot \omega}{10^3} \text{ млн. м}^3 \quad (28)$$

де z – шар випаровування за відповідний місяць, мм, ω – площа водного дзеркала водосховища, млн.м².

Втрати води на фільтрацію приймають в процентах від розрахункового об'єму в залежності від гідрогеологічних умов.

Для оцінки точності врахування втрат необхідно порівняти V_K (обчислене без врахування втрат) і V_p (обчислене з урахуванням втрат) за формулою

$$\Delta V = \frac{V_p - V_K}{V_K} \cdot 100\% \quad (29)$$

Це розходження не повинно перевищувати 5%, у протилежному випадку розрахунки необхідно повторити, взявши за вихідні величини об'ємів води у водосховищі значення, отримані у першому наближенні. Якщо і при наступному наближенні вказане розходження перевищуватиме 5%, то розрахунок знову повторюють. Повний об'єм водосховища дорівнює сумі робочого і мертвого об'ємів ($V_{нов} = V_p + V_{мо}$). За цим об'ємом, користуючись кривою $V=f(H)$ (рис.6) знаходять відмітку *НПГ*.

4.2. Графічні розрахунки сезонного регулювання стоку

Графічні розрахунки регулювання стоку ґрунтуються на використанні інтегральних кривих стоку. Розрізняють повні та різницеві інтегральні криві. Розглянемо перший з них.

Повні інтегральні криві стоку та їхні властивості. Променевий масштаб

Вихідними даними для побудови інтегральних кривих стоку є гідрограф стоку (рис. 9а). Об'єм стоку або ордината інтегральної кривої (рис. 9б) за будь-який період часу дорівнює



$$W = \int_0^t Q dt, \quad (30)$$

або в сумі

$$W = \sum_0^t Q_0 \Delta t. \quad (31)$$

Тобто повну інтегральну криву можна отримати при послідовному складанні об'ємів за окремі інтервали часу. Тому інтегральні криві називають ще *сумарними*.

Виходячи із способу побудови інтегральних кривих, впливають їхні основні властивості:

1. Будь-яка ордината кривої є сумарним стоком від початку побудови до даного моменту часу;

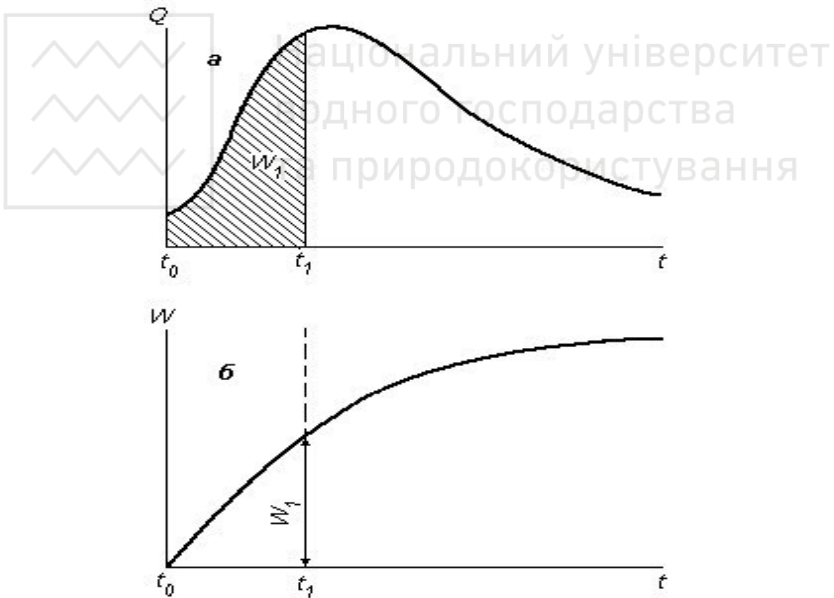


Рис.9. Гідрограф (а) і інтегральна крива (б) стоку

2. Різниця ординат у двох точках інтегральної кривої дорівнює стокові за період часу між ними;



3. Якщо витрата в межах якогось інтервалу постійна, то крива в цьому інтервалі стає прямою лінією;

4. Тангенс кута нахилу α відрізка, що з'єднує дві точки A і B на інтегральній кривій до осі абсцис виражає величину середньої витрати в інтервалі між цими точками (рис.10а).

$$\operatorname{tg} \alpha = BC / AC = \Delta W / \Delta t = Q_{\text{сеп}}. \quad (32)$$

5. Тангенс кута нахилу дотичної до інтегральної кривої виражає витрату в точці дотику

$$\operatorname{tg} \alpha = dW / dt = Q. \quad (33)$$

Якщо інтегральна крива побудована не в однакових числових масштабах, то це необхідно враховувати при визначенні витрат за інтегральною кривою. Позначивши масштаб об'єму через m_w і масштаб часу через m_t , отримаємо

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{\Delta W / m_w}{\Delta t / m_t} = (m_t / m_w) (\Delta W / \Delta t) = (m_t / m_w) Q, \quad (34)$$

звідси

$$Q = \operatorname{tg} \alpha (m_w / m_t). \quad (35)$$

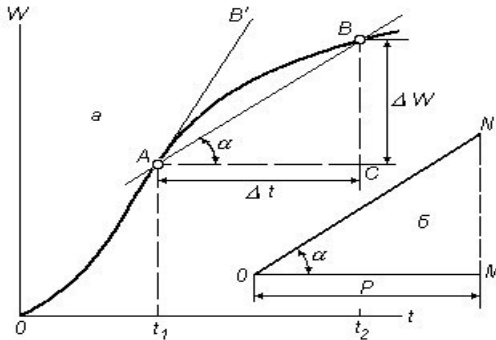


Рис. 10. Інтегральна крива (а) і промений масштаб (б)



Для полегшення визначення витрат за кутом нахилу і відношенням масштабів, використовують *променевий масштаб*. Його будують в такій послідовності.

Із довільно взятої точки O (рис. 10б) проводять лінію OM завдовжки P , в кінці якого проводять вертикальну лінію NM . Виходячи із подібності трикутників ABC і ONM , запишемо

$$MN/P = BC/AC = \Delta W/\Delta t = Q. \quad (36)$$

Звідки витікає, що

$$NM = QP. \quad (37)$$

Отже, відрізок NM є шкалою витрат, точка O є полюсом променевого масштабу, а P - *полюсною відстанню*.

Для побудови променевого масштабу необхідно вибрати масштаб витрат m_Q і визначити полюсну відстань P . Із трикутника ONM запишемо

$$NM = P \operatorname{tg} \alpha. \quad (38)$$

Враховуючи формулу (223) і те, що відрізок NM пропорційний витраті, отримаємо

$$Q/m_q = P(m_t/m_w)Q, \quad (39)$$

звідки

$$P = m_w/m_q m_t, \quad (40)$$

де m_q - масштаб шкали витрат променевого масштабу.

Застосування інтегральних кривих до розрахунку сезонного регулювання стоку.

За допомогою інтегральної кривої можна вирішувати два основні завдання:

1) визначити потрібний корисний об'єм водосховища за заданим споживанням;



2) за заданим об'ємом водосховища визначити можливу водовіддачу.

Розглянемо порядок визначення корисного об'єму водосховища за заданим споживанням за допомогою повних інтегральних кривих (рис. 11а).

На одному рисунку зображують інтегральні криві припливу W і споживання Σq . Якщо прийняти споживання рівномірним, то остання крива буде мати вигляд прямої лінії.

Оскільки кінцева ордината інтегральної кривої припливу води до водосховища більша від кінцевої ординати інтегральної кривої споживання (точки A і B), то покрити нестачі заданого споживання можна за рахунок даного припливу.

Криву споживання, що має простіший вигляд, переміщують паралельно самій собі в точки дотику до кривої припливу (a і b).

Виходячи із властивостей інтегральних кривих в інтервалі t_0-t_1 і t_2-t_3 приплив перевищує споживання, а в інтервалі t_1-t_2 , споживання перевищує приплив. Отже, в цей період матимемо дефіцит припливу.

Відстань між верхньою і нижньою дотичними показує об'єм дефіциту i , отже, величину необхідного корисного об'єму водосховища для його покриття.

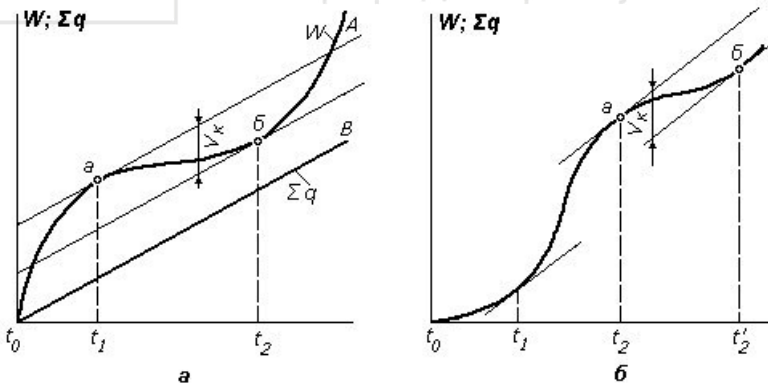


Рис. 11. Графічний спосіб визначення корисного об'єму водосховища за заданою витратою на споживання

Важливо враховувати взаємне розташування точок дотику a і b , тому що точка верхнього дотику повинна завжди передувати за часом



точці нижнього дотику. Якщо за результатами побудови вийде навпаки, то різниця між ними покаже не дефіцит, а надлишок стоку (див. рис.11б). В такому випадку криві потрібно добудувати праворуч, розпочинаючи з початку періоду.

При двотактній роботі водосховища будують дві точки верхнього a і a' і дві точки нижнього b і b' дотику (рис.12). При незалежних тактах корисний об'єм водосховища буде дорівнювати більшій нестачі (V_1), тобто більшому відрізку ординат між найвищою (точка a) і найнижчою (точка b) дотичними (рис.12а).

Для визначення корисного об'єму водосховища при залежних тактах, а також при будь-якій кількості тактів, необхідно використовувати правило: корисний об'єм водосховища дорівнює найбільшій вертикальній відстані між попередніми верхніми і подальшими нижніми дотичними за умови, що верхня дотична не перетинає кривої припливу раніше від точки нижнього дотику (рис. 12б).

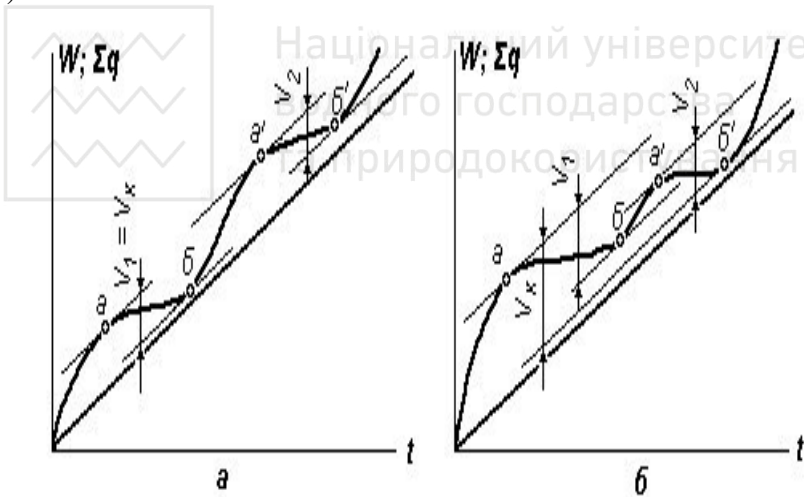


Рис. 12. Графічний розрахунок корисного об'єму при двотактній роботі водосховища: а - при незалежних тактах; б - при залежних тактах

Побудова графіків роботи водосховища

На рис. 13 показаний приклад побудови графіків роботи водосховища за двома крайніми варіантами регулювання стоку – першим та другим.

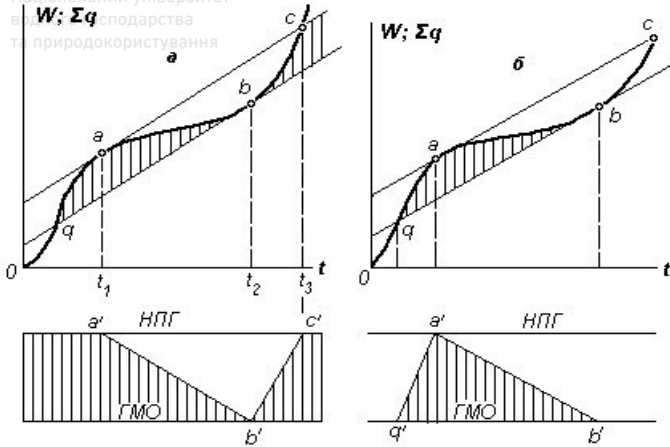


Рис.13. Графіки роботи водосховища: а – за першим варіантом регулювання; б – за другим варіантом регулювання

Момент спрацювання водосховища до відмітки ГМО відповідає точці нижнього дотику (b). За першим варіантом регулювання (рис.13а) водосховище відразу наповнюватиметься і в точці С перетину верхньої дотичної з кривою припливу буде заповнене до відмітки НПГ.

З цього моменту до початку спрацювання водосховища, що відповідає точці а – точці дотику верхньої дотичної до кривої припливу, надлишки припливу скидаються в нижній б'єф через водоскидні споруди греблі (пусті скидання).

За другим варіантом регулювання (рис.13б) спочатку здійснюють пусті скидання. Момент початку заповнення водосховища відповідає точці перетину нижньої дотичної із кривою припливу (точка q).

Між розглянутими крайніми варіантами роботи водосховища може бути багато інших, коли початок наповнення водосховища знаходиться між точками t_2 і t_1 .

При вирішенні другого завдання – за об'ємом водосховища визначити величину водовіддачі – проводять додаткову криву припливу, паралельну заданій, нижче неї на відстані, яка дорівнює заданому об'єму V (рис. 14).

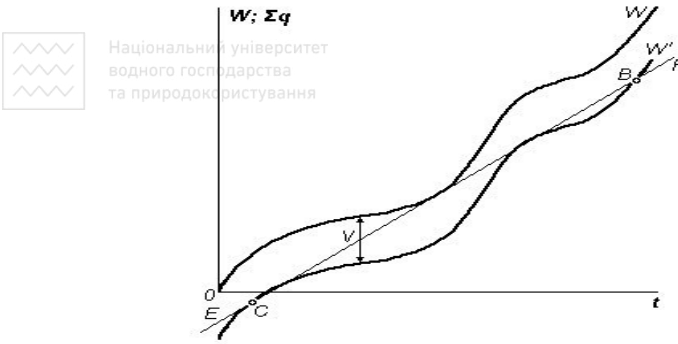


Рис. 14. Схема розрахунку при заданому об'ємі водосховища

Спільна дотична до цих кривих і буде сумарною кривою шуканої величини рівномірного споживання. Точка B перетину лінії EF з кривою W' показує момент початку скидання, який продовжується до моменту, що відповідає точці C .

При нерівномірному споживанні криву споживання $ABCD$ (рис.15) необхідно розмістити між лініями W і W' так, щоб вона не виходила за межі обох кривих. Якщо це неможливо, то необхідно зменшити споживання.

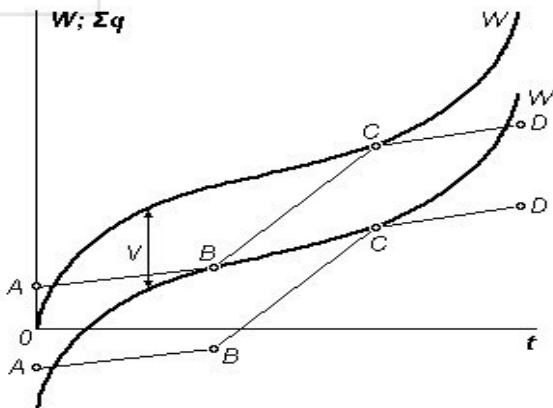


Рис.15. Графічний розрахунок при заданому об'ємі водосховища і нерівномірному споживанні



Тема 5. Багаторічне регулювання стоку

Багаторічне регулювання стоку полягає в перерозподілі природного річкового стоку за допомогою водосховищ протягом декількох років. В багатоводні роки вода акумулюється у водосховищі, а в маловодні – спрацьовується.

Отже, цикл наповнення і спорожнення водосховища може тривати декілька років.

Ємність водосховища для багаторічного регулювання стоку складається із ємності для накопичення стоку багатоводних років (*багаторічна ємність*) та внутрішньорічного регулювання стоку (*сезонна ємність*).

На багаторічне регулювання стоку переходять у випадку, коли необхідна загальна водовіддача перевищує сумарний приплив маловодного року.

Кінцевою метою багаторічного регулювання стоку є повне використання стоку річки, коли сумарна водовіддача, із урахуванням санітарних витрат у річці, дорівнюватиме середній багаторічній витраті води.

5.1. Методи розрахунків і задачі багаторічного регулювання стоку

Існують дві групи методів розрахунків:

1. Методи, що ґрунтуються на фактичних даних про стік;
2. Узагальнені методи, що ґрунтуються на теорії ймовірності.

Перші із них полягають у встановленні параметрів водосховища на основі фактичних рядів, виходячи із припущення, що у майбутньому стік буде таким же, яким він був у минулому.

Узагальнені методи передбачають визначення параметрів водосховища за можливими (ймовірними) комбінаціями величин стоку. Тому розрахунки за цими методами дають надійніші результати.



Вихідними даними для розрахунку узагальненими методами є статистичні параметри ряду: Q_0 , C_v , C_s , що характеризують криву ймовірності величин стоку. Ці параметри визначаються за даними спостережень, а при їхній відсутності – осередненням.

При розрахунках багаторічного регулювання стоку можуть вирішуватись такі задачі:

1. За даним споживанням визначити об'єм водосховища;
2. За даним об'ємом водосховища визначити корисну водовіддачу;
3. Визначити найдоцільніший об'єм водосховища для найбільш повного зарегулювання стоку;
4. За заданим об'ємом водосховища і корисною віддачею встановити фактичну забезпеченість споживання.

Розрахунки багаторічного регулювання стоку ведуть у відносних величинах. При цьому використовують такі показники:

- модульний коефіцієнт $K_i = \frac{W_i}{W_0}$,

- коефіцієнт зарегульованості стоку $\alpha = \frac{\Sigma q_{\text{брутто}}}{W_0} = \frac{\varphi \Sigma q_{\text{нетто}}}{W_0}$,

- коефіцієнт використання водосховища $\alpha_{\text{нетто}} = \frac{\Sigma q_{\text{нетто}}}{W_0}$,

- коефіцієнт багаторічної ємності водосховища $\beta_{\text{баг}} = \frac{V_{\text{баг}}}{W_0}$,

- коефіцієнт сезонної ємності водосховища $\beta_{\text{сез}} = \frac{V_{\text{сез}}}{W_0}$,

- коефіцієнт корисної ємності водосховища

$$\beta = \frac{V_{\kappa}}{W_0} = \frac{V_{\text{сез}} + V_{\text{баг}}}{W_0},$$



$$\varphi = \frac{\Sigma q_{\text{нетто}} + W_{\text{в}} + W_{\text{ф}}}{\Sigma q_{\text{нетто}}} \quad (41)$$

Тут W_i - річний об'єм стоку; W_0 - середній багаторічний об'єм річного стоку (норма річного стоку); $\Sigma q_{\text{брутто}}$ - повне споживання (споживання з урахуванням втрат води із водосховища), $\Sigma q_{\text{нетто}}$ - корисне споживання; $W_{\text{в}}$ і $W_{\text{ф}}$ - втрати води із водосховища на випаровування та фільтрацію; φ - коефіцієнт втрат; $V_{\text{баз}}$, $V_{\text{сез}}$, і $V_{\text{к}}$ - багаторічна, сезонна та корисна ємність водосховища.

На практиці окремо розраховують сезонну та багаторічну ємності водосховища.

5.2. Розрахунки сезонної ємності водосховища

Початок спрацювання багаторічної ємності водосховища за мало-водну n -річку відносять до початку маловодного періоду, а закінчують багатоводним періодом. Наступний за маловодною n -річкою рік вже не буде маловодним, але він розпочинається з маловодного періоду. Для покриття дефіциту стоку маловодного періоду $n+1$ року і призначена сезонна ємність водосховища. Цей рік вважають середнім за водністю.

При розрахунках стік цього року вважають рівним видатності α . Сезонну ємність визначають аналітичним або графічним способами. Графічний спосіб полягає в побудові повних інтегральних кривих припливу та віддачі бруто.

Сезонну ємність водосховища за графіком визначають як відрізок ординати між найвіддаленішими точками кривої припливу та віддачі. Для інших значень α

$$V_{\text{сез}} = V_{\text{сез}}^{\alpha+1} \cdot \alpha \quad (42)$$

Аналітичним способом сезонну місткість визначають за формулою

$$\beta_{\text{сез}} = \alpha t_{\text{м}} - \alpha m_{\text{м}} = \alpha(t_{\text{м}} - m_{\text{м}}), \quad (43)$$



де t_m - тривалість межені в частках року; m_m - частина стоку межені в річному стоці $n+1$ року; α_m і αm_m - відповідно віддача і приплив за період межені.

Так визначається сезонна місткість при рівномірній протягом року віддачі.

При нерівномірному споживанні протягом року формулу (43) записують у вигляді

$$\beta_{сез} = \alpha(\alpha_m - m_m), \quad (44)$$

де α - коефіцієнт нерівномірності споживання, який є відношенням віддачі за межень до середньої річної віддачі.

Абсолютне значення сезонної місткості визначають за формулою

$$V_{сез} = \beta_{сез} W_0. \quad (45)$$

5.3. Визначення багаторічної ємності водосховища за першим методом С. М. Крицького і М.Ф. Менкеля

При заданому споживанні багаторічна місткість може бути розрахована різними методами. Ці методи були розроблені С.М. Крицьким і М.Ф. Менкелем, А.Д. Саваренським, Я.Ф. Плешковим, Г.П. Івановим та ін [11].

С.М. Крицький і М.Ф. Менкель розробили два методи розрахунку багаторічного регулювання стоку.

Перший метод було запропоновано в 1930р. Суть цього методу полягає у визначенні дефіциту стоку за різні маловодні n -річки. Тут під маловодною n -річкою розуміють кількість суміжних маловодних років. При розрахунках слід проаналізувати дефіцити стоку за різну кількість суміжних маловодних років.

Нехай маємо гідрологічний ряд з величинами стоку K_1, K_2, \dots, K_n і задану повну віддачу α .

У роки при $\alpha > K_i$ має місце дефіцит стоку, у роки при $\alpha < K_i$ дефіциту немає. Величина дефіциту складає

$$Z_i = \alpha - K_i, \quad (46)$$



Максимальний дефіцит відповідатиме найбільш маловодному року.

Для аналізу дефіцитів стоку за декілька суміжних маловодних років визначають середні модульні коефіцієнти за відповідні роки: для групи з двох років

$$K_1^{(2)} = \frac{K_1 + K_2}{2}; K_2^{(2)} = \frac{K_2 + K_3}{2}; \dots; K_{n-1}^{(2)} = \frac{K_{n-1} + K_n}{2}; \quad (47)$$

для групи з трьох років

$$K_1^{(3)} = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}; K_2^{(3)} = \frac{K_2 + K_3 + K_4}{3};$$

$$K_{n-2}^{(3)} = \frac{K_{n-2} + K_{n-1} + K_n}{3} \text{ і т.д.} \quad (48)$$

Тут індексами (2), (3) позначають кількість років, що входять в маловодну групу.

В подальшому обчислюють модульні коефіцієнти заданої забезпеченості

$$K_p^{(1)}, K_p^{(2)}, K_p^{(3)}, \dots, K_p^{(n)}.$$

Дефіцити стоку, що відповідають заданій забезпеченості, дорівнюють:

для групи в два роки

$$Z_p^{(2)} = 2(\alpha - K_p^{(2)});$$

для груп в три роки

$$Z_p^{(3)} = 3(\alpha - K_p^{(3)});$$

для груп в n років

$$Z_p^{(n)} = n(\alpha - K_p^{(n)}). \quad (49)$$

Багаторічна ємність водосховища у відносних одиницях дорівнюватиме максимальному дефіциту



$$\beta_{\text{баг}} = Z_P^{(n)} \text{ макс}, \quad (50)$$

а абсолютне її значення -

$$V_{\text{баг}} = \beta_{\text{баг}} \cdot W_0. \quad (51)$$

Розрахунковий період спрацювання водосховища приймають рівним n -річчю з максимальним дефіцитом.

Для спрощення розрахунків автори запропонували обчислювати $C_V^{(n)}$ і $C_S^{(n)}$ для різних n -річок за формулами

$$C_V^{(n)} = C_V / \sqrt{n} \quad \text{і} \quad C_S^{(n)} = C_S / \sqrt{n}, \quad (52)$$

де C_V і C_S - коефіцієнти варіації і асиметрії річних значень стоку, n - кількість років в угрупованні. Усі розрахунки за цим методом зручно виконувати за таблицею у такому вигляді:

n	$C_V^{(n)}$	$C_S^{(n)}$	Φ	$\Phi C_V^{(n)}$	$K_P^{(n)} = \Phi C_V^{(n)} + 1$	$Z_P = n(\alpha - K_P^{(n)})$
1	2	3	4	5	6	7

5.4. Визначення багаторічної ємності водосховища за другим методом С. М. Крицького і М.Ф. Менкеля

Перший метод С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля не дав відповіді на питання про ймовірність перебоїв у подачі води за межами розрахункової забезпеченості. Тому у 1935 році автори запропонували *другий метод*, позбавлений цього недоліка і який полягає у побудові кривих забезпеченості суми двох незалежних одна від одної величин.

Безпосереднє використання другого методу пов'язане із складними і трудомісткими обчисленнями.

Практичне застосування цього методу стало можливим після розроблення спеціальних графіків. Такі графіки були складені кількома авторами.

Я.Ф. Плешков склав графіки, що зв'язують багаторічну місткість водосховища з коефіцієнтом регулювання і мінливості річного стоку. Такі графіки побудовані для $C_S = 2C_V$ і забезпеченостей 75, 80, 90, 95 та 97% (додаток 5, 6).

Г.П. Іванов та М.М. Милославський запропонували графіки, які дають змогу проводити розрахунок не лише при $C_S = 2C_V$, а і при інших співвідношеннях між C_S і C_V . Ці графіки виражають залежність

між $\varphi = \frac{\beta_{\text{баг}}}{C_V}$, величиною $\Phi = \frac{1-\alpha}{C_V}$ і C_S , при цьому

$$\beta_{\text{баг}} = \varphi C_V$$

і наведені в роботі [6].

5.5. Врахування кореляційного зв'язку об'ємів річного стоку

Розглянуті вище методи розрахунку багаторічного регулювання стоку виходять із припущення про незалежність стоку суміжних років. Однак, такий зв'язок, очевидно, має місце, що зумовлюється запасами вологи в басейні, які переходять із одного року в другий та наявністю інерції в ході метеорологічних факторів.

Відмічається також зв'язок, проте набагато слабкіший, між об'ємами стоку через рік, два і т.д.. Для уточнення розрахунків за першим методом Крицького-Менкеля, П.А.Єфимович запропонував коефіцієнт варіації за n-річку визначати за залежністю

$$C_v^{(n)} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{2}{n} [r_1(n-1) + r_2(n-2) + r_3(n-3) \dots]}, \quad (53)$$

де r_1 – коефіцієнт кореляції між величинами стоку за суміжні роки; r_2 – те ж саме через один рік; r_3 - те ж саме через два роки тощо.



Враховуючи, що коефіцієнти кореляції r_2, r_3, \dots відносно малі, то вираз (53) набуде простішого вигляду

$$C_v^{(n)} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{2}{n} r_1 (n-1)}, \quad (54)$$

Графіки Я.Ф. Плешкова та М.М. Милославського побудовані без урахування кореляційного зв'язку між стоком суміжних років. Тому вони забезпечують достатню точність визначення багаторічної місткості водосховища при коефіцієнті кореляції до 0,20.

Для врахування кореляційного зв'язку в розрахунках багаторічного регулювання стоку використовують графіки І.В. Гуглія (при $r = 0,30$) та номограми Г.Г. Сванідзе, А.Ш. Резніковського і В.В. Зубарєва (при $r = 0-0,60$) [6].

5.6. Врахування втрат води на випаровування та фільтрацію при розрахунках багаторічного регулювання стоку

Повний об'єм водосховища багаторічного регулювання стоку складається із мертвого об'єму, сезонної та багаторічної ємностей

$$V_n = V_{m.o} + V_{сез} + V_{баг}. \quad (55)$$

При розрахунках двох останніх ємностей необхідно, крім корисного споживання, враховувати втрати води із водосховища на випаровування та фільтрацію.

Розглянемо спрощений розрахунок врахування втрат води, виходячи із середнього об'єму за період роботи водосховища

$$V_{сеп} = V_{m.o} + 0,5(V_{баг} + V_{сез}), \quad (56)$$

За середнім об'ємом, користуючись топографічними характеристиками водосховища, знаходять площу водного дзеркала $\omega_{сеп}$. Потім за відомою нормою річного випаровування з водної поверхні Z_0 і $\omega_{сеп}$ обчислюють об'єм втрат води на випаровування

$$W_e = \frac{Z_0 \omega_{сеп}}{10^3}. \quad (57)$$



Втрати на фільтрацію W_ϕ в частках від середнього об'єму $V_{сер}$ визначають в залежності від гідрогеологічних умов. Уточнена віддача бруutto складатиме

$$\Sigma q_{брутто} = \Sigma q_{нетто} + W_e + W_\phi. \quad (58)$$

Потім визначають коефіцієнт зарегулювання стоку

$$\alpha = \Sigma q_{брутто} / W_0. \quad (59)$$

Користуючись розглянутими методами за одержаним α визначають нову корисну ємність $V_k = V_{баз} + V_{сез}$.

Якщо розходження з раніше визначеним значенням V_k не перевищує 5%, то розрахунок вважають завершеним. У протилежному випадку розрахунок повторюють, виходячи з нового значення корисного об'єму водосховища до тих пір, поки розбіжність між попереднім і наступним корисними об'ємами не перевищуватиме 5%.

За уточненим об'ємом водосховища, за кривою $V=f(H)$ визначають відмітку нормального підпірного горизонту *НПГ* для багаторічного регулювання стоку.

Тема 6. Розрахунок трансформації паводків та повеней водосховищем

Паводкова хвиля при проходженні через водойму змінює свою форму, тобто гідрограф повені (паводку) трансформується в гідрограф скидання. Внаслідок трансформації зменшуються максимальні витрати води, котрі поступають в нижній б'єф гідротехнічних споруд. Тому розміри водоскидних споруд повинні розраховуватись вже не на максимальні витрати припливу, а на зарегульовані водосховищем скидні витрати.

Трансформація паводків і повеней здійснюється *регулюючим об'ємом* водосховища (об'ємом, що знаходиться вище відмітки *НПГ*) і частиною корисної ємності, попередньо спрацьованої перед початком паводків, до визначеного рівня. Збільшення регулюючої ємності водосховища дозволяє акумулювати більшу частину



паводкового стоку і скоротити розміри водоскидних споруд, але це зв'язано з підвищенням відміток підпору і розширенням площ затоплюваної і підтоплюваної територій. Оптимальне значення цієї ємності вибирають на основі техніко-економічних розрахунків.

При розрахунках трансформації паводків і повеней можливі такі задачі:

1) Визначення максимальної скидної витрати q_{\max} та розмірів водоскиду за заданим типом водоскиду і перевищенням рівня води h над відміткою *НПП*;

2) Визначення максимальної скидної витрати q_{\max} і величини напору h за заданим типом і розміром водоскиду;

3) Визначення розміру водоскиду і напору h за заданими типом водоскиду максимальній скидній витраті.

Для вирішення вказаних задач існує 2 групи розрахунків:

1) Наближені, котрі дають можливість визначити лише максимальну скидну витрату за формулами і розрахунковими схемами, розробленими для визначених форм гідрографів припливу, типів та режимів роботи водоскидів;

2) Детальні, котрі дають можливість з високою точністю визначити всі ординати гідрографа скидання для різних форм гідрографів припливу, типів і режимів роботи водоскидів.

6.1. Наближені розрахунки

Найпростіші залежності для розрахунку трансформації максимальної витрати води водоймою запропоновані Д.І. Кочеріним. Ці співвідношення можна застосовувати при наступних допущеннях і умовах: гідрограф припливу схематизують за трикутником або трапецією, а водосховище до початку повені заповнене до *НПП*, водоскид є відкритим (без щитів).

Максимальну скидну витрату q_{\max} при схематизації гідрографа припливу за трикутником визначають

$$q_{\max} = Q_{\max} \left(1 - \frac{V_{\text{рез}}}{W_p}\right). \quad (60)$$

При схематизації гідрографа припливу за трапецією



$$q_{\max} = \frac{W_p - V_{\text{рег}}}{\frac{W_p}{Q_{\max}} - \frac{t_2}{2}}, \quad (61)$$

Тут Q_{\max} і W_p - розрахункова максимальна витрата й об'єм повені (паводку); $V_{\text{рег}}$ - регулюючий об'єм водосховища; t_2 - тривалість стояння витрати Q_{\max} .

При влаштуванні водоскидів зі щитами, для розрахунку трансформації максимальної витрати води водосховищем використовують залежності В.І. Мокляка.

Для умови схематизації паводка за трикутником

$$q_{\max} = (Q_{\max} - q_0) \left(1 - \frac{V_{\text{рег}}}{W_p}\right) + q_0. \quad (62)$$

Для умови схематизації паводка за трапецією

$$q_{\max} = \frac{W_p - V_{\text{рег}}}{\frac{W'_p}{Q_{\max} - q_0} - \frac{t_2}{2}} + q_0, \quad (63)$$

Тут $W'_p = W_p \left(\frac{Q_{\max} - q_0}{Q_{\max}}\right)$; q_0 - витрата водозливу при відкритих

щитах і НПП.

Для визначення регулюючої ємності водосховища $V_{\text{рег}}$ на кривій $V=f(H)$ (рис.16) будують нову систему координат із початком в точці O' , котра є точкою перетину лінії, що відповідає відмітці НПП із цією кривою.

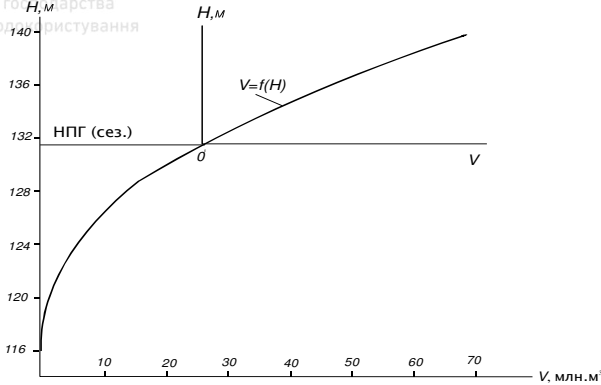


Рис. 16. Крива об'ємів водосховища

На осі ординат відкладемо висоту h перевищення рівня води в водосховищі над відміткою $НПГ$, а на осі абсцис – величину регулюючої ємності в масштабі побудови кривої $V=f(H)$. Величина $V_{рег}$ визначається в залежності від заданої висоти перевищення h .

Для визначення розмірів водоскидних споруд застосовують відомі формули гідравліки, що виражають витрату через водоскид.

Для водозливів практичного профілю зі щитами на гребені та без щитів застосовують формулу

$$q = m_1 b \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}. \quad (64)$$

Для донних отворів

$$q = m_2 \omega \sqrt{2gH} \quad (65)$$

Тут m_1, m_2 - коефіцієнти витрати; b - ширина водозливу; h - напір на порозі водозливу; ω - площа перерізу отвору; H - напір над центром отвору (при затопленому водозливні - різниця рівнів верхнього і нижнього б'єфів; g - прискорення сили ваги.

Рішення за рівняннями (62) і (63) проводиться підбором напору на водоскиді при якому витрата за цими рівняннями збігається з витратою за залежністю (64) або (65).



6.2. Детальні розрахунки

У цьому випадку розрахунок трансформації гідрографа припливу водосховищем виконують за рівнянням водного балансу водосховища

$$Qdt = qdt + \omega dh, \quad (66)$$

де Q і q - витрати припливу і скидання; ω - площа водного дзеркала водосховища; h - рівень води у водосховищі; t - час.

Рівняння (66) вирішується наближено, для чого період повені (паводка) поділяють на рівні інтервали часу Δt . Інтервали часу приймають такої тривалості, щоб зміна витрати протягом їх була невеликою і одна з границь інтервалу співпадала з максимальною розрахунковою витратою гідрографа припливу. Для цього буває достатнім 15-20 інтервалів.

Рівняння (66) в цьому випадку набере вигляду

$$\frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta t = \frac{q_1 + q_2}{2} \Delta t + (V_2 - V_1), \quad (67)$$

де Q_1 і Q_2 - витрати припливу на початок і кінець інтервалу; q_1 і q_2 - витрати скидання на початок і кінець інтервалу; $V_2 - V_1$ - зміна об'єму об'єму води у водосховищі за інтервал Δt .

Існують аналітичні, графічні і графоаналітичні прийоми детальних розрахунків трансформації паводків і повеней водосховищем.

Найчастіше в практиці розрахунків застосовують графоаналітичний метод М.В. Потапова, в інтерпретації Я.Д. Гільденבלата. Рациональність його в тім, що він може бути використаний при будь-якому типі водоскиду і виключає необхідність підбору при розрахунках.

При графоаналітичному методі розрахунку рівняння (67) записують у вигляді

$$V_2 + \frac{1}{2} q_2 \Delta t = Q_{\text{сеп}} \Delta t + (V_1 + \frac{1}{2} q_1 \Delta t) - q_1 \Delta t. \quad (68)$$



У рівнянні (68) невідомими є скидна витрата q_2 і об'єм водосховища V_2 на кінець інтервалу Δt . Усі члени правої частини рівняння на початок інтервалу визначаються за вихідними параметрами водоскиду.

Для визначення скидної витрати q_2 на кінець інтервалу Δt необхідно мати графік зв'язку $q = f(V + \frac{1}{2}q\Delta t)$ і за сумою

$V_2 + \frac{1}{2}q\Delta t$ визначити q_2 . Для наступних розрахунків величину скидної витрати на початок інтервалу приймають рівною її значенню на кінець попереднього інтервалу.

В результаті розрахунку знаходять ординати гідрографа скидних витрат і визначають розміри водоскиду [6].

Тема 7. Водний кодекс України. Охорона водних ресурсів

Водні ресурси більшості річок України, доступні для використання, практично вичерпані. Із них щорічно забирається до 30-34 млрд.м³ води, в тому числі 15-18 млрд.м³ безповоротно. Із року в рік погіршується і якість води в річках, в більшості яких цей показник оцінюється як "поганий",

Раціональне використання водних ресурсів і збереження їхньої високої якості в річках та водоймах - дуже складна і трудомістка справа. Питання комплексного використання і охорони вод у теперішній час мають величезне значення і стали однією із найгостріших проблем сучасності. Зневага до питань захисту вод від забруднення може призвести до того, що дефіцит води із року в рік буде зростати, а це може значно порушити санітарні умови життя людини, затримати розвиток народного господарства і тим самим обмежити задоволення потреб суспільства. Охорону вод не слід розуміти буквально в цьому змісті слова. Охорона водних ресурсів виросла в систему комплексних заходів, в яку входить *моніторинг* - стеження за станом водних ресурсів, ступенем забруднення вод, система забороняючих та обмежуючих заходів. Але головне, охорона водних ресурсів повинна здійснюватись в процесі їхнього раціонального використання.



7.1. Джерела забруднення поверхневих вод

До основних джерел забруднення поверхневих вод відносять:

1. Стічні води промислових підприємств.

Згідно класифікації А.Г.Гусєва, ці води за складом забруднювачів, що містяться в них, і за характером дії на річки та водойми поділяють на чотири групи.

Перша група - стічні води, що вміщують неорганічні домішки зі специфічними токсичними властивостями. До їхнього числа відносяться стічні води содових, сірчано-кислотних, азотно-тукових заводів, заводів чорної металургії, машинобудівних підприємств, рудозбагачувальних фабрик свинцевих, цинкових руд тощо.

Основними забруднювачами тут є солі, луги, миш'як, мідь, свинець та інші важкі метали, оксиди і гідроксиди металів, сірчані сполуки і ін. Вплив таких скидань приводить до зміни кольору і прозорості води, появи неприємного смаку та запаху.

Друга група - стічні води, що містять мінеральні домішки без специфічної токсичної дії. Це переважно стоки збагачувальних фабрик з переробки різних руд. Основними забруднювачами тут є завислі мінеральні речовини і дрібні частки породи. Їхній вплив аналогічний стічним водам першої групи, але менше виражений.

Третя група - стічні води із органічними добавками без специфічних токсичних властивостей. Це, в основному, стоки підприємств харчової промисловості, які негативно впливають на воду річок і водойм, так як поглинають розчинений у воді кисень і створюють несприятливий газовий режим, що нерідко призводить до зміни кольору води та появи запахів.

Четверта група - стічні води, що вміщують органічні домішки зі специфічними токсичними властивостями. До цієї групи відносяться промислові стічні води хімічних, коксохімічних, нафтопереробних та інших підприємств, які разом із нетоксичними забруднювачами містять і отруйні речовини: смоли, феноли, нафтопродукти, сірчані сполуки та ін. Під дією таких речовин вода



набуває зафарблення, стає каламутною, покривається флюоросціуючою плівкою і стає непридатною до використання.

Особливо шкідливий вплив на водойми мають стічні води нафтопереробних підприємств. При скиданні таких стоків на поверхні води утворюється нафтова плівка, котра є перепорою для надходження кисню у воду.

2. Господарсько-побутові стічні води міст та інших населених пунктів. В останній час такі стоки стають все більш насиченими різними токсичними миючими засобами.

3. Стоки крупних тваринницьких комплексів.

4. Дренажні і скидні води із зрошуваних земель, що часто бувають засоленими.

5. Нагріті води теплових і атомних електростанцій. При цьому нерідко спостерігається "теплове" (термічне) забруднення води, що стимулює ріст водоростей.

6. Стічні води атомних електростанцій та гірничодобувних підприємств, які часто викликають радіоактивне забруднення води.

7. Поверхневий стік. Тут необхідно розрізняти із яких територій має місце стік: із населених пунктів, чи із промислових підприємств або тваринницьких ферм, чи із земельних угідь, що оброблялись з використанням добрив і пестицидів.

Поверхневий стік із населених пунктів мало чим відрізняється від господарсько-побутових стічних вод. У стоці із територій промислових підприємств звичайно містяться нафтопродукти, мастила, продукти виробництва тощо.

Поверхневий стік із полів, що оброблялись мінеральними і органічними добривами, попадаючи в річки та водойми, змінює в них біологічні процеси, внаслідок чого виникає масовий розвиток водоростей – "цвітіння води".

За даними А.В. Яцика, найбільшим забруднювачем поверхневих вод в Україні є промисловість, яка скидає більше половини усіх скидних вод. На другому місці серед забруднювачів є комунальне господарство, далі йде сільське господарство.

До особливостей причин забруднення водойм за даними інституту гідробіології АН України необхідно віднести:

- слабку проточність;
- інтенсивне відкладення наносів, з якими осідають біогенні та органічні речовини;



- уповільнення водообміну, що знижує вміст кисню у воді;

- інтенсивне прогрівання води на мілководді, що сприяє розвитку зелених та синьо-зелених водоростей.

7.2. Заходи по запобіганню забруднення, засмічення і вичерпання поверхневих вод та їхньої шкідливої дії

Комплекс заходів з охорони вод від забруднення та вичерпання включає в себе раціональне використання водних ресурсів та водоохоронні заходи, що дозволяють скоротити об'єм і ступінь забруднення стічних вод, а також виключити необхідність скидання їх в річки та водойми.

Основними серед цих заходів є:

- науково обгрунтоване розміщення продуктивних сил;
- нормоване водокористування та водовідведення;
- впровадження водозберігаючих технологій;
- створення безстічних (замкнених) систем водозабезпечення;
- заміна водяного охолодження на електростанціях повітряним і випарувальним;
- запровадження ефективних і економних методів очищення стічних вод;
- запобігання забрудненню природних вод відходами виробництва, мінеральними та органічними добривами, пестицидами та іншими речовинами;
- здійснення комплексних заходів по відтворенню водності річок, включаючи малі річки і джерела;
- удосконалення системи управління охороною та використанням водних ресурсів;
- впровадження та підтримання належного гідрологічного стану річок та боротьба із шкідливою дією вод (затоплення та підтоплення);
- попередження аварійних скидів неочищених вод.

Важливу роль у більш ефективному науково-обгрунтованому використанні вод та в їхній охороні від забруднення, засмічення та вичерпання має відіграти Водний кодекс України (1995 р.), який покликаний регулювати водні відносини в Україні.

Для створення і підтримання сприятливого водного режиму, покращення санітарного стану річок та водойм, для захисту їх від забруднення, засмічення і вичерпання встановлюються



водоохоронні зони. До них входять заплави річок, надзаплавні тераси, брівки і круті схили корінних берегів, а також балки та яри, безпосередньо пов'язані з річковою долиною. Тут необхідне: впровадження ґрунтозахисної системи землеробства з контурно-меліоративною організацією території водозбору; здійснення агротехнічних, агролісомеліоративних та гідротехнічних протиерозійних заходів.

На територіях водоохоронних зон забороняється використання стійких та сильнодіючих пестицидів, влаштування кладовищ, скотомогильників, звалищ, полів фільтрації, а також скидання неочищених стічних вод. Зовнішні межі водоохоронних зон визначаються за спеціально розробленими проектами.

В межах водоохоронних зон влаштовуються по обох берегах річок та навколо водойм уздовж урізу води (у межений період) *прибережні захисні смуги*. Ширина цих смуг залежить від розміру річок та водойм.

Згідно Водного кодексу України, річки поділяють на великі, середні та малі. До *великих* належать річки, які розташовані у кількох географічних зонах і мають площу водозбору понад 50 тис. квадратних кілометрів.

До *середніх* належать річки, які мають площу водозбору від 2 до 50 тис. квадратних кілометрів.

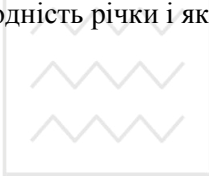
До *малих* належать річки з площею водозбору до 2 тис. квадратних кілометрів. Ширина прибережних захисних смуг для малих річок, струмків і потічків, а також ставків площею менше 3 гектарів, складає 25 метрів; для середніх річок, водосховищ на них, а також ставків площею понад 3 гектари - 50 метрів і для великих річок, водосховищ на них та озер - 100 метрів.

Якщо крутизна схилів перевищує три градуси, мінімальна ширина прибережної захисної смуги подвоюється. У межах населених пунктів прибережну смугу встановлюють, виходячи з конкретних умов планування і забудови. У межах прибережних захисних смуг, крім обмежень, властивих для водоохоронних зон, забороняється розорювання земель, а також садівництво та городництво, влаштування літніх таборів для худоби, будівництво будь-яких споруд, у тому числі баз відпочинку, дач, гаражів та стоянок автомобілів, миття та обслуговування транспортних засобів та техніки.



3 метою охорони водності малих річок, а також запобігання шкідливого впливу вод (затоплення, підтоплення), забороняється:

- 1) змінювати рельєф басейну річки;
- 2) руйнувати русла пересихаючих річок та струмків;
- 3) випрямляти русла річок та поглиблювати їхнє дно нижче природного рівня або перекривати їх без влаштування спеціальних водотоків, перепадів чи акведуків;
- 4) зменшувати природний рослинний покрив і лісистість басейну;
- 5) розорювати заплавні землі та застосовувати на них засоби хімізації;
- 6) проводити осушувальні меліоративні роботи на заболочених ділянках та урочищах у верхів'ях річок;
- 7) надавати земельні ділянки у заплавах річок під будівництво, садівництво та городництво;
- 8) здійснювати інші роботи, що можуть негативно впливати на водність річки і якість води в ній.





Частина III. Тематика самостійної роботи та тестування знань студентів

3.1. Тематика самостійної роботи

3.1.1. Теми практичних занять

1. Розрахунок річного стоку при відсутності даних спостережень -2 год;
2. Топографічні характеристики водосховища – 2 год;
3. Втрати води із водосховища – 2 год;
4. Мертвий об'єм водосховища – 2 год;
5. Сезонне регулювання стоку – 6 год;
6. Багаторічне регулювання стоку – 4 год;
7. Трансформація повеней та паводків водосховищем – 2 год.

3.1.2. Індивідуальне навчально-дослідне завдання

Індивідуальне навчально-дослідне завдання полягає у виконанні водогосподарських розрахунків для однієї з річок України і включає в себе:

1. Розрахунок річного стоку при відсутності даних спостережень;
2. Побудова топографічних характеристик водосховища;
3. Визначення втрат води із водосховища;
4. Обчислення мертвого об'єму водосховища;
5. Розрахунки сезонного регулювання стоку табличним методом;
6. Розрахунки багаторічного регулювання стоку

3.2. Тести для поточного контролю знань

Тест 1

Статистичні параметри ряду — це:

1. Площа водозбору, середній похил басейну, середня висота басейну;
2. Середнє значення ряду, коефіцієнт варіації, коефіцієнт асиметрії;
3. Відносна середньоквадратична похибка, дисперсія ряду.

Тест 2



Забезпеченість розрахункових максимальних витрат залежить:

1. Від площі водозбору;
2. Від цілей використання стоку;
3. Від класу капітальності споруди.

Тест 3

Під регулюванням стоку розуміють:

1. Забір води із водосховища;
2. Забір води безпосередньо із русла;
3. Перерозподіл природнього стоку.

Тест 4

Ставки називають водосховища об'ємом менше:

1. 1 млн. м³
2. 3 млн. м³
3. 5 млн. м³

Тест 5

Водогосподарський рік розпочинається:

1. З багатоводного періоду;
2. З маловодного періоду;
3. Відповідає календарному року.

Тест 6

Забезпеченість водовіддачі залежить від:

1. Виду регулювання стоку;
2. Об'єму водосховища;
3. Виду споживачів.

Тест 7

До параметрів водосховища відносять:

1. Співвідношення між довжиною та шириною водосховища;
2. Нормативні горизонти та об'єми водосховища;
3. Довжину берегової лінії та площу водного дзеркала.

Тест 8

Тактність роботи при сезонному регулюванні водосховища залежить:

1. Від об'єму водосховища;
2. Від виду споживачів;
3. Від кількості наповнень та спорожнень водосховища на протязі року.



Тест 9

Момент спрацювання водосховища при двотактній роботі з незалежними тактами відповідає:

1. Кінцю періода меншого надлишку;
2. Кінцю періода більшої недостачі;
3. Кінцю періода меншої недостачі.

Тест 10

Для визначення багаторічної ємності за 2-гим способом С.Н. Крицького-М.Ф. Менкеля використовують графіки:

1. К.П. Воскресенського;
2. Я.Ф. Плешкова;
3. М.Ф. Менкеля.

Тест 11

Водогосподарський баланс – це співвідношення:

1. Між стоком та опадами;
2. Між припливом та споживанням;
3. Між припливом та втратами води.

Тест 12

Метою трансформації повеней та паводків водосховищем є:

1. Зменшення максимальних витрат води;
2. Збільшення максимальних витрат води;
3. Підвищення мінімальних витрат води.

Тест 13

Автокореляція – це кореляція ряду величин стоку

1. З рядом величин опадів за відповідний період;
2. З тим же рядом, зсунутим на деякий інтервал;
3. З величинами стоку річки – аналога.

Тест 14

При одноктній роботі водосховища корисний об'єм дорівнює:

- 1.5.1.1. Об'єму надлишка;
- 1.5.1.2. Об'єму недостачі;
- 1.5.1.3. Різниці між об'ємом надлишка і недостачі.

Тест 15

Мертвий об'єм водосховища призначений для:

1. Боротьбі з затопленням території;
2. Акумуляції наносів;
3. Пропуску повеней та паводків водосховищем.



Тест 16

До водосапоживачів відносяться:

1. Річний транспорт;
2. Зрошення;
3. Енергетика.

Тест 17

Сезонну ємність водосховища розраховують за притоком:

1. Маловодного року;
2. Багатоводного року;
3. Середнього за водністю року.

Тест 18

Корисний об'єм водосховища при багаторічному регулювання стоку складається із:

1. Мертвого об'єму та багаторічної ємності;
2. Мертвого об'єму та сезонної ємності;
3. Сезонної та багаторічної ємностей.





Багаторічна ємність водосховища	44, 46
Багаторічне регулювання стоку	15, 41
Варіанти експлуатації водосховища	31, 32
Вартісні характеристики водосховища	22
Види регулювання стоку	11
Внутрішньорічний розподіл стоку	11
Водний Кодекс України	53, 56
Водогосподарські розрахунки	12
Водокористувачі	11
Водоохоронні зони	57
Водоспоживачі	11
Водосховища	17, 18
Втрати води на випаровування	23
Втрати води на льодоутворення	24
Втрати води на фільтрацію	23, 24
Горизонт мертвого об'єму	19
Горизонт форсування	19
Графічні розрахунки регулювання стоку	33, 34, 36, 37
Добове регулювання стоку	13
Довготривалі види регулювання стоку	15
Забезпеченість водовіддачі	16, 17
Змішане регулювання стоку	16
Коефіцієнт асиметрії	8, 9
Коефіцієнт варіації	8
Коефіцієнт зарегулювання стоку	42



Коефіцієнт нерівномірності добового споживання	13
Корисний об'єм водосховища	19
Мертвий об'єм водосховища	19, 26, 27
Методи розрахунків багаторічного регулювання стоку	41, 42
Норма річного стоку	8
Нормальний підпірний горизонт	19
Об'єм форсування	19
Об'ємні характеристики стоку	22
Охорона водних ресурсів	53, 56
Параметри водосховища	19
Повний об'єм водосховища	19
Повні інтегральні криві стоку	33, 34
Прибережні захисні смуги	57
Променевий масштаб	35
Регулювання стоку	12
Річне регулювання стоку	15
Річний стік	8
Сезонна ємність водосховища	43
Сезонне регулювання стоку	15, 28
Табличні розрахунки сезонного регулювання стоку	29, 30
Тактність роботи водосховища	29, 30
Тижневе регулювання стоку	14
Типи водосховища	17, 18
Топографічні характеристики водосховища	20, 21
Трансформація паводків та повеней водосховищем	49, 50, 52



Література

Підручники та посібники

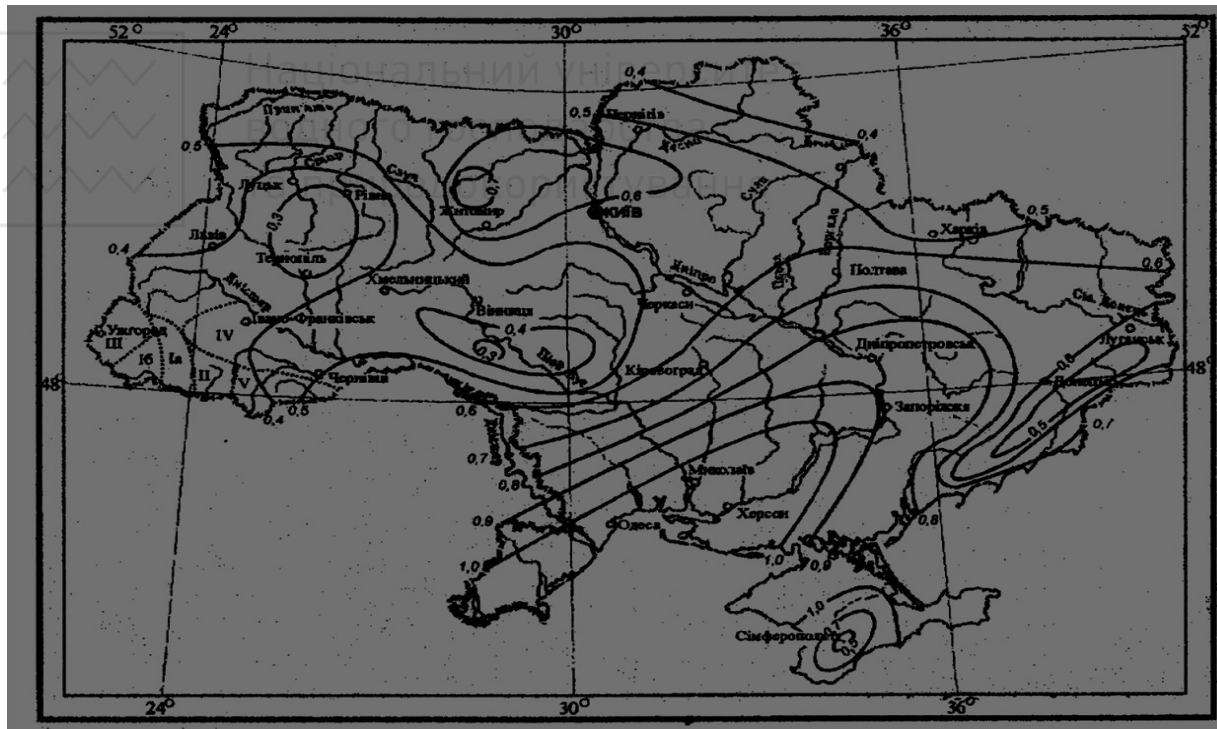
1. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Водохозяйственные расчеты. - Л.; Гидрометеиздат, 1952.-392 с.
2. Лаликін М.В., Ревера О.З. Гідрологічні та водогос-подарські розрахунки. - К., Вища школа, 1973.-199с.
3. Литовченко О.Ф. Інженерна гідрологія та регулювання стоку.-К.; Вища школа, 1999.-360 с.
4. Плешков Я.Ф. Регулирование речного стока. Л; Гидрометеиздат, 175. – 560 с.
5. Саваренский А.Д. Регулирование речного стоку водохранилищами.-М.; Изд-во АН СССР, 1951.- 236с.
6. Сливка П.Д., Новосад Я.О., Будз О.П. Гідрологія та регулювання стоку : навчальний посібник; Рівне: УДУВГП, 2003, - 287 с.
7. Сливка П.Д. Інженерна гідрологія та регулювання стоку. Рівне; Вид-во НУВГП, 2008.- 136 с.
8. Яцик А.В. Водогосподарська екологія. Т. 2. - К. Генеза, 2004. -384 с.

Методичні вказівки

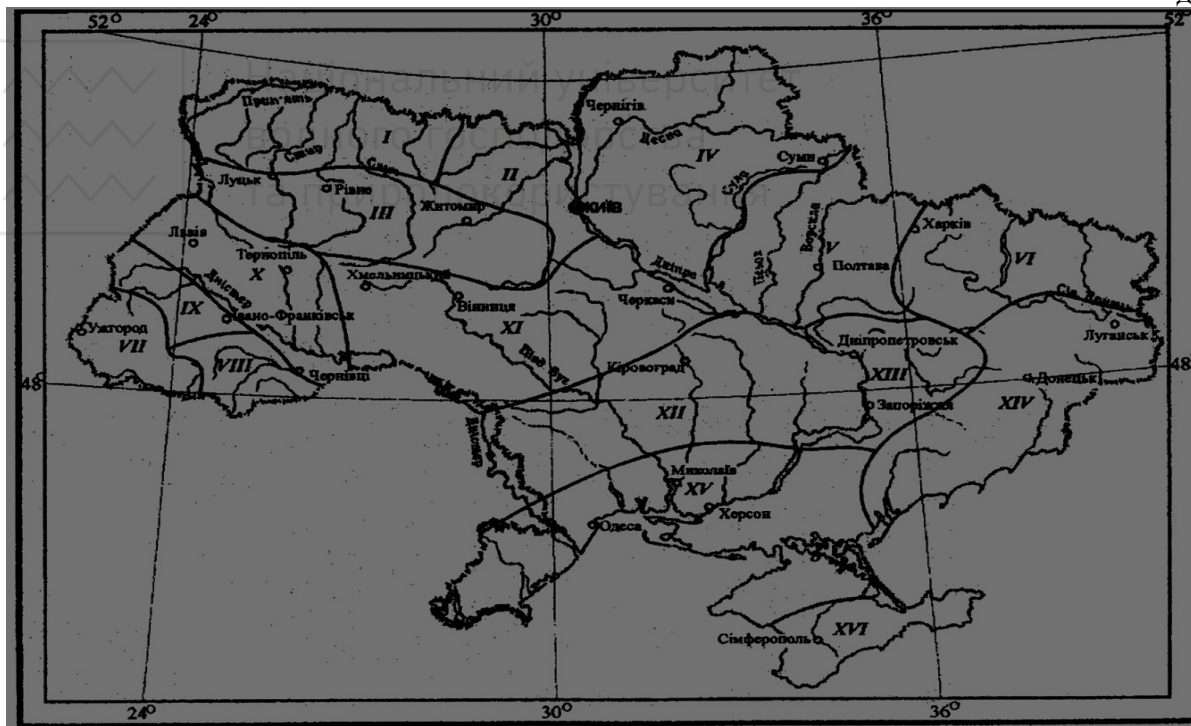
1. Методичні вказівки для виконання водогосподарських розрахунків. Сливка П.Д., Стеблевець П.П. – Рівне; РДТУ, 199с. – 33с.
2. Методичні вказівки для виконання розрахунків річного стоку. Будз О.П., Сливка П.Д., Рівне; НУВГП, 2006.-19с.



Середній багаторічний стік річок України, л/с-км²



Коефіцієнт варіації річного стоку річок України



Районування території України за внутрішньо річним розподілом стоку (I,II...XVI – райони)

Типові схеми розподілу річного стоку річок України за сезонами і місяцями характерні за водністю роки (%). (1-багатоводний, 2-середній, 3-маловодний, 4-дуже маловодний)

Водність року	За місяцями											
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Річки північної частини України												
Район I												
1	32,4	12,1	4,5	4,8	2,5	1,3	1,8	3,6	7,9	17,2	7,8	4,1
2	41,9	15,2	6,8	3,6	1,7	1,1	1,3	2,2	3,9	13,4	5,5	3,4
3	48,4	21,3	9,0	2,0	0,9	0,6	1,3	1,7	3,4	6,0	3,1	2,3
4	52,7	25,0	11,0	1,5	0,8	0,5	0,7	0,9	0,7	2,4	1,3	0,9
Район II												
1	42,7	9,8	3,8	8,4	3,2	2,1	2,0	2,7	4,8	2,9	4,9	12,6
2	41,3	14,7	6,1	4,8	3,2	2,4	2,7	3,5	5,7	4,4	3,2	8,3
3	38,6	16,2	7,2	5,1	3,1	3,8	2,8	3,7	5,4	3,8	5,2	4,4
4	34,0	16,6	9,4	5,8	3,7	4,4	3,0	4,0	5,4	5,0	4,2	4,5
Район III												
1	32,4	9,9	4,9	4,2	6,9	3,4	3,3	4,1	6,4	5,9	5,0	13,6
2	32,2	13,0	6,2	4,4	3,0	3,8	4,2	5,2	6,3	4,9	6,1	10,7
3	32,0	14,4	7,9	3,9	3,0	3,1	4,6	5,2	6,6	6,6	5,7	7,0
4	34,3	17,4	9,6	3,6	2,5	2,5	4,4	4,8	5,5	5,1	4,6	5,7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Район IV												
1	13,6	46,5	4,0	4,4	1,9	1,6	2,6	4,3	4,3	7,8	3,4	6,6
2	48,5	16,1	5,3	3,5	1,9	1,6	2,1	3,1	4,8	5,6	3,4	4,1
3	42,3	21,1	8,2	3,1	2,0	1,6	2,0	2,9	4,8	5,1	3,4	3,5

Продовження додатку 4

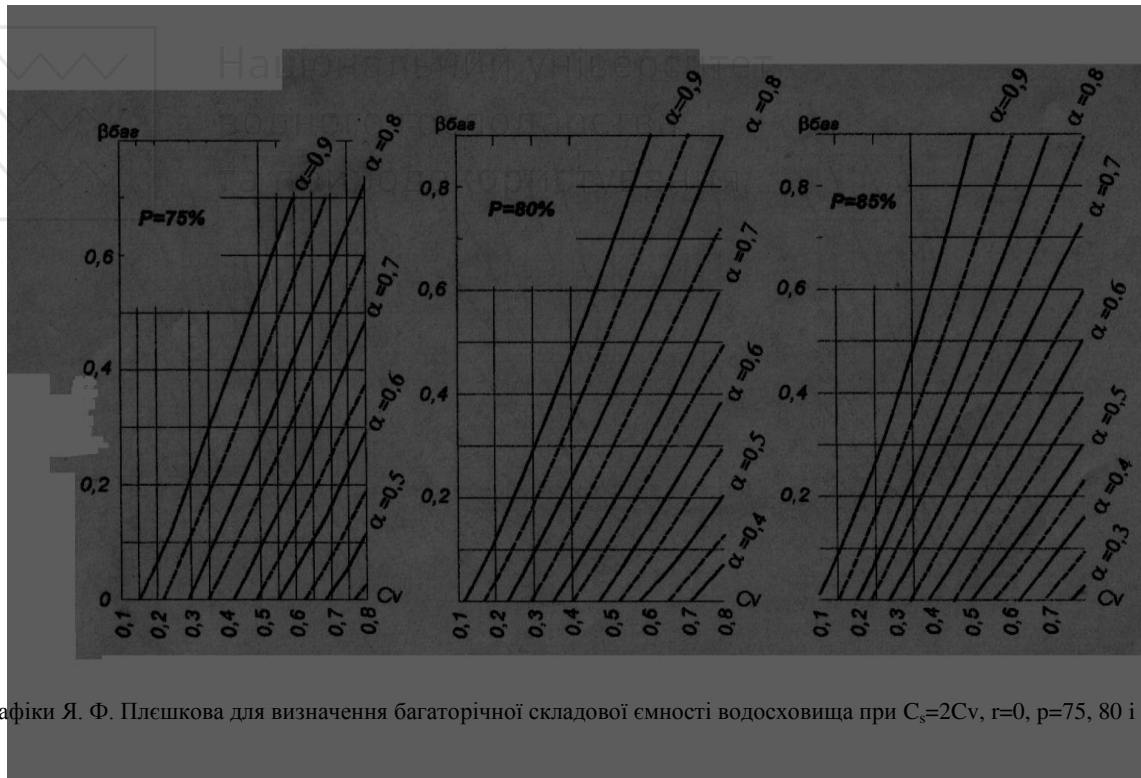
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	40,8	22,3	9,5	3,0	2,0	1,6	2,1	3,0	4,7	4,4	3,4	3,3
Район V												
1	59,2	11,9	2,9	2,6	2,2	1,0	0,7	1,3	2,3	3,4	9,7	2,8
2	56,8	15,6	4,2	2,8	1,5	0,9	1,4	2,2	3,8	6,7	2,1	2,0
3	48,9	20,9	9,0	2,4	1,6	0,9	1,5	2,4	3,8	4,6	2,4	1,6
4	44,9	25,7	12,1	2,2	1,6	1,0	1,4	2,2	3,2	2,9	1,5	1,3
Район VI												
1	48,0	11,1	3,2	3,2	3,1	2,1	1,5	2,2	2,6	4,1	3,1	15,8
2	40,9	16,3	6,6	4,2	2,6	2,1	2,6	3,2	4,3	6,9	4,5	5,8
3	33,6	19,8	9,4	4,2	2,8	2,2	2,8	3,8	5,1	7,3	4,8	4,2
4	33,9	19,1	8,2	5,1	3,6	3,1	3,9	4,1	4,3	6,8	3,8	4,1
Район VII												
1	11,2	17,4	7,0	6,8	7,4	3,6	2,7	4,2	7,9	14,7	6,7	10,4
2	12,3	19,2	6,9	7,2	6,9	3,7	3,4	4,7	8,5	10,4	4,9	11,8
3	15,1	19,2	7,9	10,1	6,2	4,1	3,0	3,9	8,6	9,3	4,1	8,5
4	17,8	23,3	9,9	10,8	5,8	4,2	3,4	3,8	9,2	6,2	2,2	3,4
Район VIII												
1	6,8	19,5	12,1	11,5	8,0	5,9	4,9	5,0	9,0	9,1	6,4	2,8
2	7,6	20,8	13,6	10,7	7,6	5,2	4,6	5,6	9,0	7,6	4,0	3,7
3	8,8	22,8	14,2	10,7	7,4	5,8	4,5	5,3	7,8	5,9	3,6	3,2
4	9,5	25,5	15,5	10,6	7,1	6,0	4,6	5,0	7,0	4,1	2,6	2,5
Район IX												
1	7,9	17,9	8,9	17,0	10,3	5,8	5,9	3,4	4,4	7,5	3,7	8,0

Продовження додатку 4

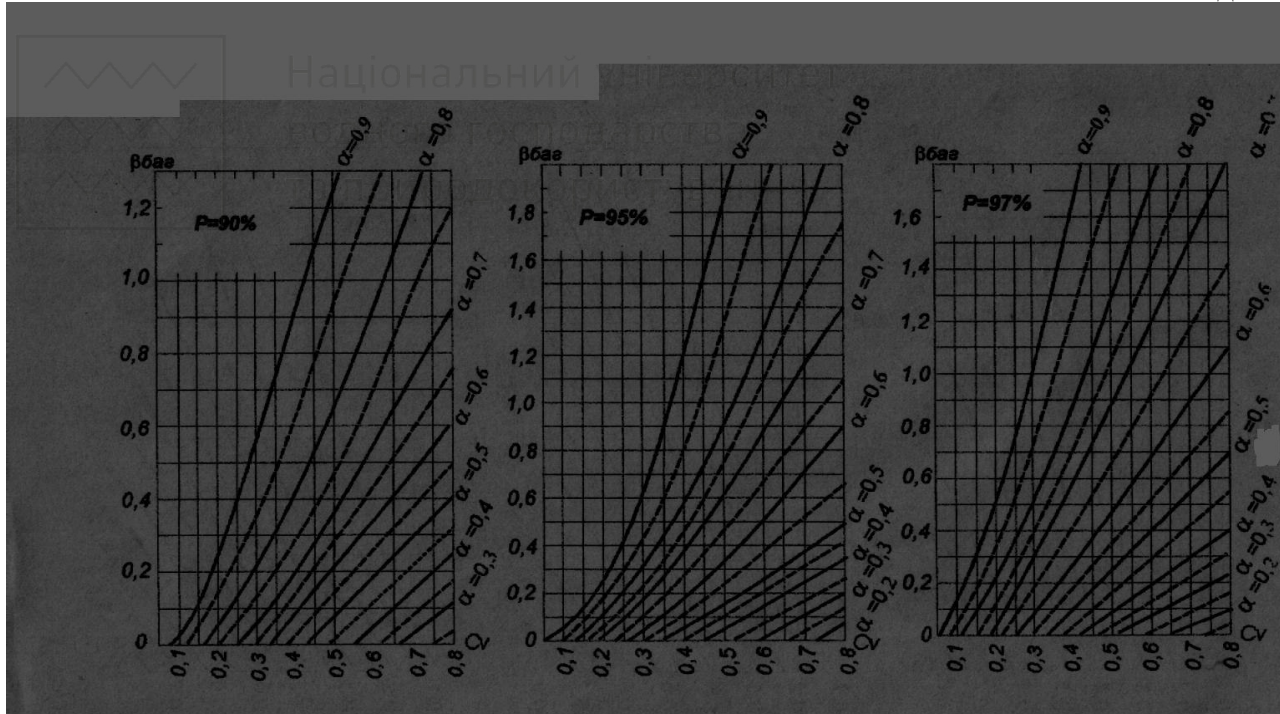
2	11,6	19,9	7,0	9,9	10,5	5,6	7,2	4,4	7,3	6,0	3,6	7,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	13,6	21,2	8,5	12,7	8,4	5,2	4,2	5,3	6,7	6,8	3,2	4,2
4	24,8	16,9	11,6	11,0	6,9	4,6	4,3	4,7	5,0	4,5	2,5	3,2
Район X												
1	23,4	8,7	5,9	8,6	8,0	6,3	5,8	5,7	6,6	5,8	5,3	9,9
2	20,6	10,5	8,3	7,9	7,4	5,5	6,1	6,2	6,2	5,3	9,8	39,4
3	18,0	12,3	9,5	7,9	6,3	5,8	7,0	7,5	6,5	6,7	5,8	7,7
4	17,9	12,2	9,9	7,7	5,9	5,8	7,3	6,4	6,4	6,7	6,0	7,4
Район XI												
1	34,5	10,5	4,5	5,2	8,1	3,5	3,6	4,2	5,1	4,8	4,6	11,4
2	32,6	12,7	6,3	6,6	4,1	3,2	3,9	5,1	5,7	5,8	4,6	9,4
3	29,4	16,0	8,8	5,4	3,4	3,2	4,0	4,7	6,3	4,8	5,5	8,5
4	28,4	17,8	9,8	4,7	2,9	2,7	4,6	5,2	6,0	4,9	5,0	8,0
Річки південної частини України												
Район XII												
1	5,3	38,9	12,8	7,8	5,9	4,2	3,1	3,2	3,8	5,7	6,5	5,9
2	8,8	34,5	15,9	5,5	5,3	3,1	2,2	2,8	4,2	5,5	6,7	5,5
3	10,5	27,6	20,2	6,2	4,3	2,7	2,4	2,9	3,9	6,1	6,1	7,1
4	11,1	31,2	17,9	5,1	3,8	2,6	3,0	2,8	3,9	6,2	6,1	6,3
Район XIII												
1	14,7	52,7	3,7	3,0	3,3	3,7	2,4	1,7	2,2	3,3	3,6	5,7

Продовження додатку 4

2	7,4	44,6	16,2	4,9	2,5	2,2	2,8	2,3	2,2	4,3	5,2	4,8
3	11,5	38,2	20,3	4,5	2,8	1,9	2,1	2,6	3,1	4,0	4,8	4,2
4	10,5	35,4	19,0	5,2	2,9	1,8	2,0	3,2	3,7	5,0	5,7	5,6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Район XIV												
1	6,4	32,6	14,8	7,7	6,2	4,3	2,9	3,2	4,1	4,7	5,5	7,6
2	11,0	28,8	16,7	8,0	5,4	4,4	2,4	2,4	3,7	5,1	4,5	7,6
3	11,3	28,9	18,5	7,3	5,3	4,1	2,2	3,5	4,7	5,4	6,8	6,8
4	11,3	28,7	18,7	6,7	4,1	3,6	1,7	2,3	3,5	4,7	5,4	5,7
Район XV												
1	22,2	49,2	5,3	4,9	4,0	2,9	0,0	0,0	0,0	3,7	2,9	4,9
2	20,3	51,5	6,8	6,6	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,9	6,9
3	24,9	48,9	12,6	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6
4												
Район XVI												
1	9,0	22,0	13,7	12,1	9,9	3,9	2,0	0,0	2,2	4,6	7,8	12,8
2	9,6	15,4	28,4	13,1	6,4	3,4	0,0	0,0	2,1	4,3	7,5	9,8
3	11,4	29,9	18,5	9,7	4,9	2,6	0,0	0,0	0,0	5,8	9,1	8,1
4	13,4	32,0	21,9	7,8	3,8	2,0	0,0	0,0	0,0	4,3	7,0	7,8



Графіки Я. Ф. Плешкова для визначення багаторічної складової ємності водосховища при $C_s=2C_v$, $r=0$, $p=75, 80$ і 85%



Графіки Я. Ф. Плешкова для визначення багаторічної складової ємності водосховища при $C_s=2C_v$, $r=0$, $p=90, 95$ і 97%

Нормовані відхилення від середнього значення ординат біноміальної кривої $x_p - \bar{x}/\sigma = K_p - 1/C_V = \Phi(P, C_V)$

C_S	Нормовані відхилення $\Phi(P, C_S)$ забезпеченістю $P\%$									$\Phi_{5\%}$ - $\Phi_{95\%}$	Коефіцієнт асиметрії
	1	5	30	50	70	80	90	95	99		
0,00	2,33	1,64	0,52	0,00	-0,52	-0,84	-1,28	-1,64	-2,33	3,28	0,00
0,10	2,40	1,67	0,51	-0,02	-0,53	-0,85	-1,27	-1,61	-2,25	3,28	0,03
0,30	2,54	1,72	0,48	-0,05	-0,56	-0,85	-1,24	-1,55	-2,10	3,27	0,08
0,50	2,68	1,77	0,46	-0,08	-0,58	-0,85	-1,22	-1,49	-1,96	3,26	0,14
0,70	2,82	1,82	0,43	-0,12	-0,60	-0,85	-1,18	-1,42	-1,81	3,24	0,20
0,90	2,96	1,86	0,40	-0,15	-0,61	-0,85	-1,15	-1,35	-1,66	3,21	0,25
1,00	3,02	1,88	0,38	-0,16	-0,62	-0,85	-1,13	-1,32	-1,59	3,20	0,28
1,20	3,15	1,91	0,35	-0,19	-0,63	-0,84	-1,08	-1,24	-1,45	3,16	0,34
1,40	3,27	1,94	0,31	-0,22	-0,64	-0,83	-1,04	-1,17	-1,32	3,12	0,39
1,60	3,39	1,96	0,28	-0,25	-0,64	-0,81	-0,99	-1,10	-1,20	3,07	0,45
1,80	3,50	1,98	0,24	-0,28	-0,64	-0,80	-0,94	-1,02	-1,09	3,01	0,51
2,00	3,60	2,00	0,20	-0,31	-0,64	-0,78	-0,90	-0,95	-0,99	2,95	0,57
2,2	3,68	2,02	0,16	-0,33	-0,64	-0,75	-0,842	-0,882	-0,905	2,89	0,62
2,4	3,78	2,00	0,12	-0,35	-0,62	-0,72	-0,792	-0,820	-0,832	2,82	0,67
2,6	3,86	2,00	0,085	-0,37	-0,61	-0,70	-0,746	-0,763	-0,769	2,76	0,72
2,8	3,96	2,00	0,057	-0,39	-0,60	-0,67	-0,703	-0,711	-0,714	2,71	0,76
3,0	4,05	1,97	0,027	-0,40	-0,59	-0,64	-0,661	-0,665	-0,667	2,64	0,80
3,4	4,18	1,94	-0,036	-0,41	-0,55	-0,58	-0,587	-0,588	-0,588	2,53	0,86
3,8	4,29	1,90	-0,095	-0,42	-0,51	-0,52	-0,526	-0,526	-0,526	2,43	0,91
4,2	4,39	1,88	-0,13	-0,41	-0,47	-0,475	-0,476	-0,476	-0,476	2,36	0,94
4,6	4,46	1,84	-0,17	-0,40	-0,432	-0,435	-0,435	-0,435	-0,435	2,28	0,97
5,0	4,54	1,78	-0,20	-0,380	-0,399	-0,400	-0,400	-0,400	-0,400	2,18	0,98



Передмова	
Частина I. Програма навчальної дисципліни «Водогосподарські розрахунки»	4
1.1. Опис предмета навчальної дисципліни	4
1.2. Тематичний план та розподіл навчального часу	5
1.3. Методи оцінювання знань	6
1.4. Розподіл балів, які оцінюють роботу студента	6
1.5. Програмний матеріал змістового модуля	7
Частина II. Конспект лекцій та методичні рекомендації до вивчення окремих тем дисциплін	8
Тема 1. Розрахункові величини	8
Тема 2. Загальні поняття. Види регулювання стоку.	11
Забезпеченість водовіддачі при регулюванні стоку	
2.1. Види регулювання стоку	12
2.2. Забезпеченість водовіддачі при регулюванні стоку	16
Тема 3. Водосховища	17
3.1. Типи, параметри та характеристики водосховищ	17
3.2. Втрати води із водосховища	22
3.3. Розрахунок мертвого об'єму водосховища	26
Тема 4. Сезонне регулювання стоку	28
4.1. Табличні розрахунки сезонного регулювання стоку	29
4.2. Графічні розрахунки сезонного регулювання стоку	30
Тема 5. Багаторічне регулювання стоку	40
5.1. Методи розрахунків і задачі багаторічного регулювання стоку	41
5.2. Розрахунок сезонної ємності водосховища	42
5.3. Визначення багаторічної ємності водосховища за першим методом С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля	43
5.4. Визначення багаторічної ємності водосховища за другим методом С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля	45
5.5. Врахування кореляційного зв'язку об'ємів річного стоку	46
5.6. Врахування втрат води на випарування та фільтрацію при розрахунках багаторічного регулювання стоку	47
Тема 6. Розрахунок трансформації паводків та повеней водосховищем	48



6.1. Наближені розрахунки	49
6.2. Детальні розрахунки	52
Тема 7. Водний кодекс України. Охорона Водних ресурсів	53
7.1. Джерела забруднення поверхневих вод	54
7.2. Заходи по запобіганню забруднення, засмічення і вичерпання поверхневих вод та їхньої шкідливої дії	56
Частина III. Тематика самостійної роботи та тестування знань студентів	58
3.1. Тематика самостійної роботи	58
3.1.1. Теми практичних занять	58
3.1.2. Індивідуальне навчально-дослідне завдання	58
3.2. Тести для поточного контролю знань	59
Предметний показник	62
Література	64
Додатки	65
Зміст	77





Національний університет

водного господарства
та природокористування

Петро Дем'янович Сливка
Олена Петрівна Будз



Національний університет
водного господарства
та природокористування