

**Міністерство освіти і науки України
Дніпропетровський національний університет
ім. Олеся Гончара**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ**

«ВОДОГОСПОДАРЧІ РОЗРАХУНКИ»

2014

Уміщено лабораторні роботи з курсу «Водогосподарчі розрахунки». Розглянуто сучасні способи проведення водогосподарських розрахунків: визначення топографічних характеристик та мертвого об'єму водосховища; розрахунок сезонного та багаторічного регулювання стоку річок та ін. Наведено завдання, виконання яких дозволить навчитися аналізувати вплив водосховищ на формування стоку річок.

Для студентів ДНУ, які навчаються за напрямом «Гідрометеорологія» і спеціальністю «Гідрологія».

Темплан 2014, поз. 40

**Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни**

«Водогосподарчі розрахунки»

Укладачі: д. геогр. наук доц. Шерстюк Н.П.
к. геогр. наук ст. викл. Довганенко Д.О.

Редактор О.В. Бец
Техредактор Л.П. Замятіна
Коректор Т.А. Белиба

Підписано до друку 19.02.14. Формат 60×84/16. Папір друкарський.
Друк плоский. Ум. друк. арк. 0,9. Ум. фарбовідб. 0,9. Обл.-вид. арк.
Тираж 100 пр. Зам. №

РВВ ДНУ, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010.
Друкарня «Ліра», пл. Десантників, 1, м. Дніпропетровськ, 49038.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
серія ДП № 14 від 13.07.2000 р.

ЧАСТИНА I

ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Лабораторна робота №1 ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОБУДОВА ТОПОГРАФІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОСХОВИЩА

Основними топографічними характеристиками водосховища є криві залежності площ дзеркала (ω) і обсягів (V) від підпірного рівня (наповнення водосховища). Для розрахунку цих характеристик необхідно мати, як правило, топографічні карти в масштабі 1:25 000 або 1:10 000.

Площі дзеркала водосховища при тих або інших положеннях підпірного рівня визначаються шляхом планіметрування на картах площ, обмежених контурами горизонталей і лінією поздовжньої осі підпірної споруди, що замикає горизонталі з обох берегів. Для побудови залежності площ дзеркала від рівнів необхідно провести планіметрування на картах площ при всіх горизонталях у межах від початкового рівня h_0 (урізу води) до можливого підпірного рівня — h_n .

При побудові топографічних характеристики, прийнято вважати, що водна поверхня водосховища горизонтальна. У такому разі відмітки горизонталей місцевості чаші затоплення співпадатимуть з відмітками горизонту води у створі греблі.

Завдання. Обчислити та побудувати топографічні криві (характеристики) водосховища.

Дано: 1. Результати обробки планово-висотної зйомки долини річки, в межах якої проектується водосховище (табл. 1.1).

2. Площі ділянок між сусідніми горизонталями в межах водосховища, що проектується.

Потрібно: 1. Обчислити, починаючи від дна майбутнього водосховища, площі водного дзеркала та часткові об'єми води між суміжними горизонталями, які будуть утворюватися після затоплення чаші водосховища.

2. Для кожного перерізу горизонталей водосховища визначити середні глибини за частковими об'ємами та площами між сусідніми горизонталями.

3. За обчисленими даними побудувати топографічні криві для всього діапазону зміни горизонту води у водосховищі.

Розв'язання:

1. Часткові об'єми води, замкнені між сусідніми горизонталями, визначають за формулою об'єму зрізаної піраміди:

$$\Delta V_1 = \frac{(\omega_i + \sqrt{\omega_i \cdot \omega_{i+1}} + \omega_{i+1}) \cdot \Delta h}{3}, \quad (1.1)$$

де ω_i та ω_{i+1} – площі дзеркала водосховища, обмежені відповідно i та $i+1$ ізобатами;
 Δh – висота перерізу ізобат.

Перший від дна частковий об'єм обчислюється за формулою:

$$\Delta V_1 = \frac{2\omega_1 \cdot \Delta h}{3}. \quad (1.2)$$

2. Планіметруванням послідовно визначають площі між горизонталями, починаючи від дна майбутнього водосховища до максимального проектного горизонту, отримуючи залежності площі дзеркала водосховища від горизонту води в ньому $V=f(H)$.

Отримавши таким чином часткові об'єми, віднесені до конкретних горизонтів води у водосховищі, послідовним сумуванням будують залежності $V=f_2(H)$. Для кожного горизонту води визначають середню глибину водосховища ($h_{сер} = V/\omega$) і отримують залежність її від горизонту $h_{сер} = f_3(H)$.

3. Три залежності будують на співвісному графіку, на якому шкала горизонту води загальна, а для площ, об'ємів та середніх глибин шкали різні.

Приклад. Розрахунки доцільно проводити за таблицею.

Таблиця 1.1 – Обчислення топографічних характеристик водосховища.

Відмітка горизонту води, м	Площа водного дзеркала, ω_i , млн м ³	Різниця відміток, Δh , м	Частковий об'єм, ΔV , млн м ³	Об'єм водосховища V , млн м ³	Середня глибина, $h_{сер}$, м
59	0,0			0,00	0,00
60	0,8	1,0	0,53	0,53	0,7
61	0,9	1,0	0,83	1,36	1,5
62	1,0	1,0	0,95	2,31	2,3
63	2,0	1,0	1,47	3,78	1,9
67	8,0	4,0	18,7	22,48	2,8
68,5	12,0	1,5	14,9	37,38	3,1

За отриманими розрахунками побудовані графіки (рис. 1.1).

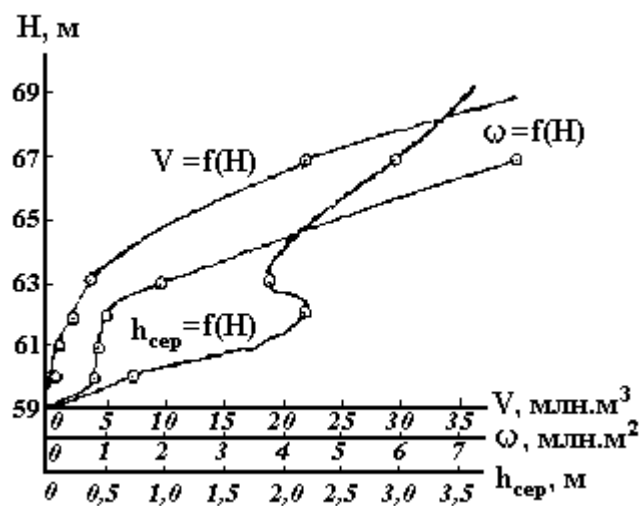


Рис. 1.1 – Топографічні характеристики водосховища.

Лабораторна робота №2 ВИЗНАЧЕННЯ МЕРТВОГО ОБ'ЄМУ ВОДОСХОВИЩА

Мертвий об'єм (МО) не бере участі в регулюванні стоку, оскільки розташований нижче горизонту спрацювання водосховища. МО необхідний для підтримання нормальної роботи водосховища і має задовольняти загальнотехнічним вимогам, які забезпечують:

- а) акумуляцію наносів, затриманих водосховищем протягом усього майбутнього періоду його роботи;
- б) санітарно-технічні умови, за яких не допускається утворення мілководь у літні періоди (літораль глибиною менше 2 м) як осередків малярії.

Часто, визначаючи МО або горизонт мертвого об'єму (ГМО) водосховища, необхідно враховувати ще й спеціальні вимоги, які забезпечують:

- а) мінімальний проектний напір на ГЕС;
- б) роботу водозабірних каналів, які відводять воду із водосховища, трубопроводів, насосних установок та ін.;
- в) судноплавні глибини у водосховищі та при виході з нього.

Завдання. Розрахувати за детальним способом МО водосховища, яке проектується на річці (див. лабораторну роботу №1).

Дано: 1. Середня багаторічна каламутність води в розрахунковому створі (ρ_0)

2. Термін служби водосховища (Т).

3. Топографічні характеристики водосховища, що проектується (див. лабораторну роботу №1).

4. Корисне водоспоживання ($q_{нт}$) та норма річного стоку (Q_0).

Потрібно: 1. Розрахувати МО водосховища на весь період його роботи.

2. Визначити горизонт МО та позначити його на кривій об'ємів $V = f(H)$.

Розв'язання:

Мертвий об'єм водосховища визначають через тривалість періоду його замулення наносами, що приноситься річкою ($МО_n$) та наносами, які утворюватимуться за рахунок переробки берегів водосховища ($МО_{в/сх.}$):

$$МО = МО_n + МО_{в/сх.} \quad (2.1)$$

Наноси, які утворюватимуться за рахунок переробки берегів водосховища можуть сягати 40% загальної кількості річкових наносів.

Мертвий об'єм водосховища через тривалість періоду його замулення наносами, що приноситься річкою визначається за формулою

$$МО_n = T \cdot W_n \cdot (1 - \delta), \quad (2.2)$$

де Т - середня тривалість періоду замулення водосховища, роки,

$МО_n$ - мертвий об'єм водосховища, млн. м³;

W_n - сумарний середній багаторічний об'єм річкових наносів, які надходять до водосховища за рік, млн. м³;

δ - транзитна частина наносів дрібних фракцій, які скидаються з водосховища у нижній б'єф під час паводків (у частках від загального об'єму наносів).

Величина δ залежить від механічного складу завислих наносів і ступеня

зарегульованості стоку, її розраховують за формулою

$$\delta = \varphi(1 - \alpha), \quad (2.3)$$

де φ - коефіцієнт крупності напосів, який враховує механічний склад наносів (для піщаних $\varphi=0,1$; для легкосуглинкових $\varphi=0,3$; для важкосуглинкових $\varphi=0,4$);

α - коефіцієнт зарегульованості стоку водосховища що проектують, тобто

$$\alpha = 1,3 \cdot \frac{q_{\text{кор}}}{Q_0}, \quad (2.4)$$

де $q_{\text{кор}}$ - корисне споживання, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_0 - норма річного стоку, $\text{м}^3/\text{с}$;

1,3 - коефіцієнт, який наближено враховує втрати води з водосховища на додаткове випаровування та фільтрацію.

Середньорічний об'єм річкових наносів обчислюють за формулою

$$W_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\gamma}, \quad (2.5)$$

де $P_{\text{н}}$ - маса сумарної кількості відкладень у водосховищі в середньому за рік, т;

γ - об'ємна маса наносів ($\text{т}/\text{м}^3$), яка в у перші роки відкладень дорівнює від 0,7 – 0,9 для мулистих наносів до 1,8 – 2,2 - для піщаних з гравієм та галькою наносів; для ущільнених мулистих відкладень з невеликою домішкою піску - 1,2 – 1,3 $\text{т}/\text{м}^3$.

До відкладених на дні водосховища наносів ($P_{\text{н}}$) входить мінеральна і органічна речовина, яка утворюється в процесі відмирання рослинних та тваринних організмів. Прийнято вважати, що органічна частина складає 5-10% маси акумульованих мінеральних наносів.

Відповідно,

$$P_{\text{н}} = P_{\text{н.мін.}} + P_{\text{н.орг.}} = 1,05P_{\text{н.мін.}} + 1,1P_{\text{н.мін.}} \quad (2.6)$$

Масу стоку мінеральних наносів за рік можна визначити за формулою

$$P_{\text{н}} = R_{\text{н}} \cdot 31,5 \cdot 10^6, \quad (2.7)$$

де $R_{\text{н}}$ - середньорічна витрата наносів (завислих і донних), $\text{кг}/\text{с}$, яка визначається за формулою:

$$R_{\text{н}} = R_{\text{з}} + R_{\text{д}}, \quad (2.8)$$

де $R_{\text{з}}$ - середньорічна витрата завислих наносів, $\text{кг}/\text{с}$; $R_{\text{д}}$ - середньорічна витрата донних наносів, $\text{кг}/\text{с}$.

$$R_{\text{з}} = \frac{\rho_0 \cdot Q_0}{10^3}, \quad (2.9)$$

де ρ_0 - середньобагаторічна каламутність води, $\text{г}/\text{м}^3$;

Q_0 - норма річного стоку, $\text{м}^3/\text{с}$.

Відомостей про вимірювання донних звисів ($R_{\text{д}}$), звичайно, немає, а тому їх кількість визначають наближено, як частку від завислих. Для рівнинних річок прийнято вважати, що донні наноси складають 1-10% від завислих, а для гірських річок - 10-80%.

Приклад.

Дано: 1. Середня багаторічна каламутність води в розрахунковому створі $\rho_0 = 171 \text{ г}/\text{м}^3$.

2. Термін служби водосховища $T = 45$ років.

3.Топографічні характеристики водосховища, що проектують (див. лабораторну роботу №1).

4.Корисне водоспоживання $q_{нт} = 13 \text{ м}^3/\text{с}$ та норма річного стоку $Q_0 = 28 \text{ м}^3/\text{с}$.

5. Чаша водосховища на річці характеризується середніми (суглинковими) гідрогеологічними умовами.

6. Органічну частину наносів складає 10% від маси акумульованих мінеральних наносів.

7. Об'єм відкладень за рахунок переробки берегів дорівнює 20%.

Розв'язання.

За формулою (2.4) обчислюємо коефіцієнт зарегульованості стоку

$$\alpha = 1,3 \cdot 13 / 28 = 0,60.$$

У зв'язку з тим, що чаша водосховища на річці характеризується середніми (суглинковими) гідрогеологічними умовами, приймаємо $\phi' = 0,30$. Тоді, транзитна частина наносів відповідно до формули (2.3) дорівнюватиме

$$\delta = 0,30 \cdot (1 - 0,60) = 0,12.$$

Середньорічна витрата завислих наносів становитиме:

$$R_3 = 171 \cdot 28 / 10^3 = 4,79 \text{ кг/с}.$$

Оскільки річка є рівнинною, то приймають, що донні наноси складатимуть 1% від завислих, або 0,048 кг/с. Тоді середньорічна сумарна витрата наносів дорівнює

$$R_H = 4,79 + 0,048 = 4,84 \text{ кг/с}.$$

Стік наносів за рік в одиницях маси буде

$$P_H = 4,84 \cdot 31,5 \cdot 10^6 = 152460 \text{ т}.$$

Органічну частину наносів приймаю рівною 10% тобто 15246 т, тоді маса сумарної кількості відкладень у водосховищі в середньому за рік складатиме

$$P_H = 152460 + 15246 = 167726 \text{ т}.$$

Якщо об'ємна маса наносів складає $\gamma = 0,5 \text{ т/м}^3$, то можна обчислити середньорічний об'єм наносів за відомою величиною їх маси

$$W_H = \frac{167706}{0,5} = 335412 \text{ м}^3.$$

Підставляючи в рівняння (2.2) дані, знаходимо, що мертвий об'єм водосховища для акумуляції всіх видів річкових наносів за 45 років експлуатації складатиме

$$MO = W_H^{(45)} = 45 \cdot 335412 \cdot (1 - 1,12) = 13,3 \text{ млн. м}^3.$$

У нашому випадку об'єм відкладень за рахунок переробки берегів прийнятий рівним 20% або 2,7 млн. м³. Тоді загальний об'єм наносів, які надходять до водосховища (з урахуванням наносів від переробки берегів) за формулою (2.1), складатиме

$$W_H^{(45)} = MO = 13,3 + 2,7 = 16 \text{ млн. м}^3.$$

Таким чином, тільки для акумуляції всіх видів наносів необхідно передбачити у водосховищі $MO = 16 \text{ млн. м}^3$. Користуючись топографічними характеристиками (кривою об'ємів), визначають відмітку горизонту MO і за нею (за допомогою кривої середніх глибин) - середню глибину водосховища, яка відповідатиме даному ГМО.

У прикладі $h_{сер} = 2,5 \text{ м}$, що відповідає санітарно-технічним вимогам. Відмітка горизонту мертвого об'єму за цієї глибини становить 66,0 м (рис. 2.1).

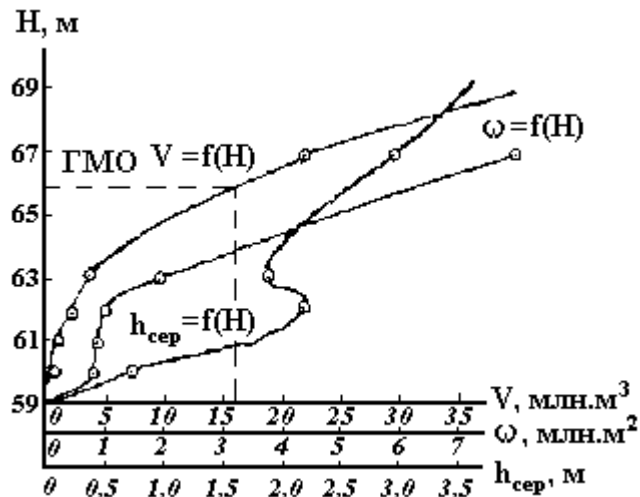


Рис. 2.1 – Горизонт мертвого об'єму (ГМО) водосховища за топографічними характеристиками

Якщо розрахований за загальним об'ємом наносів у водосховищі ГМО не забезпечує середні глибини 2 м і більше, то його призначають виходячи з мінімально допустимої середньої глибини водосховища. Для цього за кривою середніх глибин визначають ГМО, за якого $h_{\text{сеп}} \geq 2$ м.

Лабораторна робота №3 РОЗРАХУНОК ВТРАТ ВОДИ З ВОДОСХОВИЩА

З утворенням водосховища виникають значні втрати води на так зване додаткове випаровування з його дзеркала, а також на інфільтрацію в ложе водосховища, під та в обхід гідротехнічної споруди. Розрахунок втрат води проводять окремо на випаровування та на фільтрацію.

Визначення втрат води на додаткове випаровування

Завдання 1. Обчислити втрати води на додаткове випаровування з поверхні водосховища, що проектують на річці.

- Дано:
1. Забезпеченість сезонного регулювання стоку водосховищем (P).
 2. Норма річного випаровування з водної поверхні (E_B).
 3. Коефіцієнт варіації річного випаровування з водної поверхні C_v та коефіцієнт асиметрії $C_s = 2C_v$.
 4. Норма річних опадів за картою ізоліній.
 5. Коефіцієнт варіації річних опадів C_v та коефіцієнт асиметрії $C_s = 2C_v$.

Потрібно:

1. Визначити забезпеченість додаткового випаровування з водної поверхні.
2. Обчислити додаткове випаровування з водної поверхні для сезонного регулювання стоку $P\%$ -тої забезпеченості.
3. Розрахувати внутрішньорічний розподіл розрахованою випаровування з водосховища.

Розв'язання:

Водогосподарський розрахунок звичайно проводять за стоковими даними, які відбивають водний баланс розрахункового водозбору в природних умовах. З утворенням водосховища змінюється водний баланс тієї частини водозбору річки, яку воно займатиме. Якщо до утворення водосховища над цією частиною суші зареєстровані опади, певна кількість яких стікала в річки, а частина губилася на різні втрати, то після його утворення опади випадатимуть на водну поверхню і відразу ж перетворюватимуться на стік, за винятком втрат у цей час на випаровування з водної поверхні.

Тому розрахункові (додаткові) втрати на випаровування за будь-який інтервал часу (доба, місяць, рік) можна вважати рівним різниці між природним стоком зі суші (площі) до утворення водосховища і "стоком" із дзеркала водосховища.

У результаті спільного рішення рівнянь водного балансу для ділянки суші (часті водосховища) до і після її затоплення розрахункову величину втрат на додаткове випаровування для середньобаторічних значень можна обчислити за формулою:

$$\bar{E}_{\text{розр}} = \bar{E}_v - \bar{X} \cdot (1 - \bar{\eta}_c) \quad (3.1)$$

де \bar{E}_v - норма випаровування з водної поверхні; \bar{X} - норма опадів; $\bar{\eta}_c$ - середньобаторічний коефіцієнт стоку зі суші до її затоплення.

Норму випаровування з водної поверхні визначають відповідно до "Указаний по расчету испарения с водоемов", за якими вона може бути визначеною, і за даними спостережень найближчого водновипаровуючого майданчика або за емпіричними формулами, або за картою ізоліній.

Норму опадів розраховують за картою ізоліній чи за даними найближчої гідрометеорологічної станції. При цьому до методики визначення норму опадів пред'являють такі самі вимоги, що й до методики визначення норми річного стоку.

Значення коефіцієнта стоку визначають наближено за даними табл. 3.1, складеної А. В. Огієвським.

Норму додаткових втрат на випаровування враховують лише для багаторічного регулювання стоку. У розрахунках сезонного і першого року багаторічного регулювання необхідно використовувати не норму розрахункового випаровування, а значення випаровування певної розрахункової забезпеченості.

Оскільки між розрахунковими значеннями стоку і випаровуванням існує зворотна природна залежність, яка підтверджується звичайно співпадінням маловодних і посушливих років (чим більше випаровування, тим менше стік, і навпаки), то забезпеченість розрахункового випаровування треба визначати як доповнення до 100%-вої розрахункової забезпеченості регулювання стоку, %

$$P = 100 - P_y, \quad (3.2)$$

де P_y – забезпеченість стоку, на яку виконують регулювання, %.

Таблиця 3.1 - Нормальні значення коефіцієнта схилового стоку за А.В.Огієвським

Модульний коефіцієнт K_p ,%	0,59	0,66	0,70	0,75	0,83	0,86	0,99
-------------------------------	------	------	------	------	------	------	------

Знаючи норму, C_v і C_s річних опадів, за таблицею відхилень ординат біноміальної кривої забезпеченості визначають модульний коефіцієнт R забезпеченості.

Для сезонного регулювання стоку необхідно мати дані й про внутрішньорічний (помісячний) розподіл розрахункового випаровування. Якщо немає таких даних спостережень, то внутрішньорічний розподіл випаровування з водної поверхні приймають за типовими схемами, які є в довіднику "Ресурси поверхностних вод СРСР". Для території України типову схему внутрішньорічного поділу випаровування наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Внутрішньорічний розподіл розрахункового випаровування з водної поверхні для території України

Показник	Місяць									
	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Випаровування, %	-8,0	4,0	10	18	26	24	16	8,0	2,0	

Приклад.

- Дано: 1. Забезпеченість регулювати стоку дорівнює 75%.
 2. Норма річного випаровування з водної поверхні дорівнює 780 мм.
 3. Коефіцієнт варіації річного випаровування з водної поверхні $C_v = 0,10$, а коефіцієнт асиметрії $C_s = 2C_v = 0,20$.
 4. Норма річних опадів знаходять за картою ізоліній і дорівнює 455 мм.
 5. Коефіцієнт варіації річних опадів $C_v = 0,20$, а коефіцієнт асиметрії $C_s = 2C_v = 0,40$.

Для обчислення розрахункового випаровування використовуємо формулу (3.3), параметри якої визначають у такий спосіб:

1. Забезпеченість випаровування з водної поверхні при регулюванні стоку 75%-вої забезпеченості дорівнюватиме ($100\% - 75\% = 25\%$). Випаровування 25%-вої забезпеченості визначають за біноміальною кривою забезпеченості, параметри якої (норму C_v і C_s) обчислюють у певній послідовності.

Норму випаровування з водної поверхні визначена за картою ізоліній та дорівнює 780 мм.

Коефіцієнт варіації річного випаровування з водної поверхні звичайно мало змінюється, тому в середньому його можна прийняти $C_v = 0,10$ коефіцієнт асиметрії визначений за співвідношенням $C_s = 2C_v$

За табл. 3.2 трипараметричного гамма-розподілу або відхиленням ординат біноміальної кривої забезпеченості модульний коефіцієнт 25%-вої забезпеченості, тобто $K_{25\%}$ дорівнює 1,08.

Випаровування 25%-вої забезпеченості можна визначити за формулою (3.4):

$$E_{25\%} = 1,07 \cdot 780 = 834,6 \text{ мм.}$$

2. За табл. 3.3, у якій наведені значення модульних коефіцієнтів кривої, $K_{75\%} = 0,86$. За рівнянням (3.5) обчислюємо величину річних опадів 75%-вої забезпеченості, тобто

$$X_{75\%} = 0,86 \cdot 455 = 391 \text{ мм.}$$

За даними табл. 3.1 визначають коефіцієнт схилового стоку приймаючи середні умови стоку, що відповідають за вихідними даними середнім гідрогеологічним умовам чаші водосховища (див. лабораторна робота №2), він дорівнює 0,35.

Отже, всі параметри, які входять до формули (3.3), визначені; за ними обчислюють розрахункове випаровування для маловодного року 75%-вої забезпеченості

$$E_{\text{розрах}} = 834,6 - 391,3 \cdot (1 - 0,35) = 580 \text{ мм.}$$

Для середнього за водністю року розрахункове випаровування визначають за формулою (3.1):

$$\bar{E}_{\text{розрах}} = 780 - 455 \cdot (1 - 0,35) = 484 \text{ мм.}$$

Для визначення внутрішньорічного (помісячного) розподілу розрахункового випаровування (580 мм) його розподіляють в середині року згідно з відсотками (табл. 3.4) за типовою схемою (табл. 3.5).

У березні або квітні розрахункове випаровування може бути від'ємним, тому що в перший місяць теплого періоду, за рахунок танення снігу, який накопичується за зиму, опади перевищують випаровування. У зимові місяці розрахункове випаровування приймають рівним нулю: випаровування з поверхні снігу, до і після створення водосховища практично не змінюється.

Таблиця 3.5 - Внутрішньорічний розподіл розрахункового випаровування для водосховища*

Показник	Місяць									Сума
	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
Розрахункове випаровування, %	-8,0	4,0	10	18	26	24	16	8,0	2,0	100
	-46,4	23,2	58,0	104	151	139	93,0	46,4	11,6	580

* у інші місяці року випаровування дорівнює нулю.

Для багаторічного регулювання стоку необхідно знати розрахункове випаровування за сезонами, яке обчислюють сумуванням місячних значень. Для першого року регулювання визначають втрати на додаткове випаровування забезпеченістю $100 - P_y$, а для решти років - норму розрахункового випаровування, виходячи зі середніх річних значень (норм) випаровування з водної поверхні та атмосферних опадів.

Визначення витрат води на фільтрацію

Завдання 2. Визначити втрати води на фільтрацію з водосховища, яке проектують на річці.

Проектуючи водосховища, втрати води на фільтрацію визначають орієнтовно за даними табл. 3.6, залежно від гідрогеологічних умов ложа водосховища.

Таблиця 3.6 - Втрати води з водосховища на фільтрацію

Гідрогеологічні умови	Шар за рік, см	Відсоток від середнього об'єму води у водосховищі	
		за рік	за місяць
Добрі	0-50	5-10	0,5-1,0
Середні	50-100	10-20	1,0-1,5
Погані	більше 100-200	більше 20-40	більше 1,5-3,0

У нашому випадку за вихідними даними гідрогеологічні умови "середні", а тому втрати води на фільтрацію дорівнюватимуть за річний період 10-20 %, а за місяць – 1,0-1,5 % від середнього об'єму води у водосховищі.

Остаточні втрати на фільтрацію за рік приймаємо рівними 20 %, а за місяць – 1,5 % .

Лабораторна робота №4

РОЗРАХУНОК СЕЗОННОГО РЕГУЛЮВАННЯ СТОКУ ВОДИ

Сезонне регулювання стоку інколи називають сезонно-річним. Воно передбачає перерозподіл стоку із багатоводних сезонів року в маловодні, що обумовлено природною нерівномірністю стоку всередині року і неспівпаданням цих змін у часі зі змінами (коливаннями) споживання води відповідно до запитів водоспоживачів і водокористувачів.

За сезонного регулювання стоку водосховище один раз у рік наповнюється до НПГ і спрацьовується до ГМО. У разі складного гідрографа припливу (паводки) водосховище буде характеризуватися багатотактною роботою: декілька разів частково наповнюватись і частково спорожнюватись, а один раз на рік воно буде наповнене до НПГ і спрацьоване до ГМО.

Завдання розрахунку регулювання стоку полягає у визначенні об'єму водосховища і режиму його роботи з урахуванням втрат води на випаровування і фільтрацію при заданих вимогах водоспоживачів і водокористувачів. У результаті розрахунків повинні бути визначені корисний об'єм водосховища, момент його спрацьовування, скидні об'єми води, повний об'єм водосховища і режим його роботи за одним із варіантів експлуатації. Розрахунок регулювання звичайно виконують у табличній формі, виходячи з рівняння водогосподарського балансу водосховища.

Розрахунки регулювання, як правило, проводять у два прийоми. Спочатку виконують розрахунок без обліку втрат (попередній), а потім розраховують регулювання з обліком втрат за першим або другим способом експлуатації.

РОЗРАХУНОК СЕЗОННОГО РЕГУЛЮВАННЯ СТОКУ БЕЗ ОБЛІКУ ВТРАТ ВОДИ З ВОДОСХОВИЩА

Приклад. Розрахувати сезонне регулювання стоку 75%-вої забезпеченості на річці без обліку втрат води з водосховища за першим варіантом експлуатації.

Дано: 1. Внутрішньорічний розподіл стоку води 75%-вої забезпеченості (приплив).

2. Топографічні характеристики водосховища (див. лаб. роботу №1).

3. Місячні значення корисного водоспоживання (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Місячне водоспоживання, м³/с

Показник	Місяць											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Витрата q	8,00	8,00	8,00	8,00	18,5	18,5	18,5	15,5	18,5	18,5	8,0	8,0

Потрібно: 1. Визначити корисний об'єм водосховища та початок його спрацювання.

2. Розрахувати повний об'єм водосховища та об'єм скиду води в нижній б'єф.

3. Розрахувати режим роботи водосховища за першим варіантом його експлуатації.

Розв'язання:

1. У графу 1 табл. 4.2 вписують місяці, починаючи з повені. Розрахунок починають з будь-якого місяця, але зручніше - з початку повені. У графи 2 і 3 заносять значення витрат притоку Q (місячні значення річного стоку 75%-вої забезпеченості) і корисного споживання q (м³/с), які потім перераховують в об'єми води шляхом множення їх на кількість секунд у місяці, тобто на $2,63 \cdot 10^6$.

Отримані об'єми притоку (припливу) і споживання заносять відповідно в графи 4 і 5. У графи 6 і 7 записують результати зіставлення притоку і споживання (надлишки і нестача) води. Місячні об'єми надлишків і нестач утворюють окремі групи, які чергуються у хронологічній послідовності. Сумують окремо об'єми надлишків та об'єми нестач за кілька місяців підряд.

У прикладі є два періоди надлишків: лютий-квітень та грудень і два періоди нестач: травень-листопад та січень. Це свідчить про те, що робота водосховища двотактна.

За двотактної або багатотактної роботи водосховища такти можуть бути залежними, тобто, коли хоча б один із надлишків буде менше наступної за ним нестачі води. Корисний об'єм водосховища $V_{\text{кор}}$ в такому разі буде дорівнювати сумі нестач (V_2+V_4) з відрахуванням меншого об'єму з надлишків V_3 . Утім слід

Таблиця 4.2 - Розрахунок сезонного регулювання стоку води без врахування втрат. Розрахункова забезпеченість регулювання 75%

Розрахунковий інтервал часу (місяць)	Витрата, м ³ /с		Об'єм, млн м ³		W - $\sum q$, млн м ³		Перший варіант експлуатації, млн. м ³	
	Притоку Q	Споживання q	Притоку W	Споживання $\sum q$	надлишок	нестача	V _{кор}	Скид R
Лютий	8,18	8,00	21,51	21,04	0,47		0,47	
Березень	84,5	8,00	222,2	21,04	201,16		152,41	49,22
Квітень	61,6	8,00	162,1	21,04	141,06		152,41	141,06
Травень	17,8	18,5	46,76	48,65	<u>V₁=342,22</u>	1,89	150,52	
Червень	7,77	18,5	20,44	48,65		28,21	122,31	
Липень	6,60	18,5	17,36	48,65		31,29	91,02	
Серпень	5,90	15,5	15,52	40,76		25,24	65,78	
Вересень	7,08	18,5	18,62	48,65		30,03	35,75	
Жовтень	7,26	18,5	13,83	48,65		34,82	0,93	
Листопад	7,70	8,00	20,25	21,04		0,79	0,14	
Грудень	8,23	8,00	21,64	21,04	0,60	<u>V₂=152,27</u>	0,74	
Січень	7,72	8,00	20,30	21,04	<u>V₃=0,60</u>	0,74	0,00	
						<u>V₄=0,74</u>		
Сума			600,53	410,25	343,29	153,01		190,28
Різниця				190,28		190,28		

мати на увазі, що корисний об'єм водосховища повинен завжди бути більшим за об'єм кожної з нестач. Якщо він буде меншим, то $V_{\text{кор}}$ буде дорівнювати об'єму більшої з нестач. Такий випадок можливий, якщо перша нестача невелика, а друга дуже велика.

У прикладі такти залежні, а тому

$$V_{\text{кор}} = V_2 + V_4 - V_3$$

$$V_{\text{кор}} = 152,27 + 0,74 - 0,60 = 152,41 \text{ млн. м}^3.$$

Наступним кроком є визначення початку спрацювання водосховища, який є вихідним у подальших розрахунках. За одноктної роботи момент спорожнення буде в кінці періоду нестач, а якщо робота двокттна, то у кінці періоду більшої нестачі (для незалежних тактів) або в кінці другого періоду нестач (для залежних тактів).

Із аналізу даних табл. 4.2 витікає, що момент спрацювання водосховища припадає на кінець другої нестачі, тобто на кінець січня-початок лютого.

Далі проводять розрахунки режиму роботи водосховища за першим варіантом регулювання стоку, суть якого полягає в наповненні водосховища відразу після його спорожнення, відкладаючи спрацювання всього корисного об'єму на пізніші терміни.

Розрахунок проводять з моменту повного спорожнення водосховища (з лютого) "ходом вперед", тобто по ходу часу, шляхом додавання об'ємів надлишків води і віднімання нестач (дефіцитів). Результати цих обчислень записують у графу 8 табл. 4.2.

Якщо шляхом подальшого підсумовування і віднімання об'ємів притоку за окремі місяці у водосховищі буде акумульований об'єм води, який дорівнює корисному об'єму, то всі надлишки скидають у нижній б'єф. Тому в графу 8, коли об'єми перевищують корисний, записують значення корисного об'єму водосховища, а надлишки понад цієї величини йдуть на скид; їх записують у графу 9.

Водосховище починає заповнюватись у лютому і досягає іщ вного об'єму (152,41 млн. м³) у березні. Надлишки води в березні й квітні спрацьовувались; з травня до листопада водосховище спрацьовувалось, у грудні воно дещо поповнилось, а потім спорожнилось (до ГМО) на кінець січня.

Якщо розрахунок виконано без помилок, то в результаті обчислень за весь рік у кінці січня корисний об'єм води у водосховищі має дорівнювати нулю. Правильність проведених обчислень, можна контролювати рівністю різниць між сумами за графами 4 і 5, а також за графами 6 і 7, які повинні дорівнювати сумарному скиду за рік (підсумок графи 9).

Лабораторна робота №5

РОЗРАХУНОК СЕЗОННОГО РЕГУЛЮВАННЯ СТОКУ З УРАХУВАННЯМ ВТРАТ ВОДИ З ВОДОСХОВИЩА

Приклад. Розрахувати сезонне регулювання стоку води водосховищем з обліком втрат за першим способом.

Дано:

1. Результати розрахунку регулювання стоку без втрат води (лаб. робота №4).
2. Мертвий об'єм водосховища $MO = 16$ млн. m^3 .
3. Топографічні характеристики водосховища (рис. з лаб. роботи №1).

Потрібно:

1. Обчислити щомісячні об'єми втрат води на додаткове випаровування.
2. Визначити місячні значення об'ємів втрат води на фільтрацію.
3. Розрахувати режим регулювання за першим способом з обліком втрат води з водосховища.
4. Визначити корисний і повний об'єми водосховища та відмітку їх горизонтів.

Розв'язання:

1. Корисний об'єм водосховища, який був отриманий в результаті попереднього розрахунку (див. лаб. роботу №4), необхідно збільшити за рахунок втрат на випаровування і фільтрацію за першим способом, тобто за способом послідовних наближень.

Для цього використовують дані за розрахунками регулювання без обліку втрат (табл. 4.2 з лаб. роботи №4). Розрахунок виконують у табл. 5.1. До обчислених за кожен місяць об'ємів води у водосховищі (граф 8 табл. 4.2 з лаб. роботи №4) додають величину раніше встановленого мертвого об'єму (16 млн. m^3) і заносять одержані дані до графа 2 табл. 5.1, а в графу 1 вписують назву місяців. Потім визначають розрахунковий (середньомісячний) об'єм води у водосховищі, тобто півсуму його об'ємів на початок та на кінець кожного місяця, заповнюючи графу 3 табл. 5.1. За допомогою топографічних характеристик водосховища (рис.1.1 з лаб. роботи №1) обчислюють, використовуючи значення середньомісячних об'ємів води у водосховищі (граф 3), площі водного дзеркала, дані заносять до графа 4 табл. 5.1. Визначений шар розрахункового випаровування за окремі місяці (табл. 3.5 з лаб. роботи №3) записують у графу 5. Щомісячні значення розрахункового випаровування (мм) перераховують в об'єми води (млн. m^3), користуючись формулою

$$W_v = E_{\text{розр}} \cdot \omega_{\text{сер}} / 10^3 \quad (5.1)$$

де W_v - об'єм води, який витрачається на випаровування, млн. m^3 ;

$E_{\text{розр}}$ - шар розрахункового випаровування (мм) за розглянутий інтервал часу (в даному випадку за місяць);

$\omega_{\text{сер}}$ - середня за розрахунковий інтервал часу площа водної і дзеркала (млн. m^2), яка відповідає середньомісячним значеннями об'ємів води у водосховищі.

Обчислені таким чином місячні значення додаткових втрат на випаровування води з дзеркала водосховища в об'ємних одиницях записують в графу 6. Щомісячні значення втрат води на фільтрацію (1,5 %), визначені в лаб. роботі №4, записують у графу 7 табл. 5.1, а в графу 8 - сумарні втрати на випаровування і на фільтрацію за кожен місяць. До граф 9 і 10 заносять місячні об'єми води відповідно притоку W і корисного споживання $\sum Q_{\text{нт}}$, які записані в графах 4 і 5 табл. 5.1. Потім до об'ємів корисного споживання доданий об'єм сумарних втрат (помісячно) і отримують споживання бруто $\sum Q_{\text{брт}}$ значення якого заносять до графа 11.

Таблиця 5.1 - Розрахунок сезонного регулювання стоку з обліком втрат води за першим способом
(перше наближення).

Місяць	Об'єм води у водо-схо-вищі, млн. м ³	Розрахунковий об'єм, млн. м ³	Площа водного дзеркала, млн. м ³	Розрахунок випаровування, мм	Втрати води, млн. м ³			Об'єм притоку, млн. м ³	Споживання, млн. м ³		W-Σq _{обр}		Перший варіант експлуатації, млн. м ³	
					на випаровування W _в	на фільтрацію W _ф	в сумі W _в +W _ф		Σq _{нт}	Σq _{брт}	надлишок	нестача	V _{кор} , млн. м ³	скид R
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16,00												0,00	
Лютий		16,24	7,3	0,0	0,0	0,24	0,24	21,51	21,04	21,28	0,23			
	16,47												0,23	
Березень		92,44	22,5	-46,0	-1,04	1,29	0,25	222,2	21,04	21,29	200,91			24,23
	168,41												176,91	
Квітень		168,41	28,5	23,2	0,66	2,53	3,19	162,1	21,04	24,23	137,87			137,87
	168,41										V ₁ =339,09		176,91	
Травень		167,47	28,3	58,0	1,64	2,51	4,15	46,76	48,65	52,80		6,04		
	166,52												170,87	
Червень		152,42	27,0	104	2,82	2,29	5,11	20,44	48,65	53,76		33,32		
	138,31												137,55	
Липень		122,67	23,5	151	3,55	1,84	6,39	17,36	48,65	55,04		37,68		
	107,02												99,87	
Серпень		93,90	21,5	139	2,99	1,41	4,40	15,52	40,76	45,16		29,64		
	81,78												70,23	
Вересень		66,27	18,0	92,8	1,67	0,99	2,26	18,62	48,65	51,31		32,69		
	51,75												37,54	
Жовтень		34,34	9,5	46,4	0,44	0,52	0,96	13,83	48,65	49,61		35,78		
	16,93												1,76	
Листопад		16,34	7,5	11,6	0,09	0,52	0,34	20,25	21,38	21,38		1,13		
	16,14										V ₂ =176,28		0,63	
Грудень		16,44	7,4	0,0	0,0	0,25	0,25	21,64	21,04	21,29	0,35			
	16,74										V ₃ =0,35		0,98	
Січень		16,37	7,4	0,0	0,0	0,2	0,24	20,30	21,04	21,28		0,98		
	16,00										V ₄ =0,98		0,00	
	Сума						28,18				339,36	177,26		162,1
	Різниця										162,1			

Зіставляючи за кожен місяць об'єми притоку і споживання бруто, обчислюють надлишки та нестачі води. Корисний об'єм водосховища і режим його роботи визначають аналогічно обчисленням, які проводились у попередніх розрахунках (табл. 5.1). Результати обчислень заносять до граф 12-15 табл. 5.1.

Корисний об'єм водосховища, який обчислено з урахуванням втрат на додаткове випаровування і фільтрацію (за результатами розрахунків табл. 5.1), називають *робочим об'ємом водосховища*.

Отримані величини робочого і корисного об'ємів необхідно зіставити і послідовно наблизити до різниці між ними не більше 5%.

Зіставлення проводять за формулою

$$\Delta V = \frac{V_{\text{роб}} - V_{\text{кор}}}{V_{\text{кор}}} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

Об'єми втрат за першим способом звичайно отримують заниженими, а тому для їх уточнення розрахунки ведуть методом послідовних наближень до припустимої розбіжності (не більше 5%) між робочими об'ємами в двох суміжних наближеннях. Виконують не більше трьох наближень.

У прикладі, зіставляючи результати першого наближення, отримуємо

$$\Delta V = (176,91 - 152,41) / 152,41 \cdot 100 \% = 17\%.$$

Розбіжності між робочим і корисним об'ємами дорівнюють 17%, тому розрахунок повторюють за другим наближенням (табл. 5.2). Загальний хід розрахунків при цьому зберігається, відрізняються лише тим, що в графу 2 табл.5.2 записують сумарне значення мертвого об'єму і об'ємів води на початок та кінець кожного місяця, які беруть із графи 14 табл. 5.1.

У результаті проведених розрахунків за другим наближенням робочий об'єм водосховища становить 178,33 млн. м³. Зіставляючи його з робочим об'ємом за першого наближення, маємо, що

$$\Delta V = (178,33 - 176,91) / 176,91 \cdot 100\% = 0,8 \%$$

Робочий об'єм водосховища за результатами другого наближення приймають за кінцевий, бо розбіжності складають менше 5 %.

Повний об'єм водосховища буде дорівнювати сумі корисного і мертвого об'ємів, тобто $V_{\text{повн}} = V_{\text{МО}} + V_{\text{кор}}$, відповідно, у прикладі:

$$V_{\text{повн}} = 16,0 + 178,33 = 194,33 \text{ млн. м}^3.$$

Таблиця 5.2 - Розрахунок сезонного регулювання стоку з обліком втрат води за першим способом (друге наближення).

Місяць	Об'єм водо-сховища, млн. м ³	Розрахун-ковий об'єм, млн. м ³	Площа водного дзеркала, млн. м ³	Розрахун-кове випаро-вування, мм	Втрати, млн. м ³			Об'єм приито-ку, млн. м ³	Споживання, млн. м ³		W-Σq _{бр}		Перший варіант експлуатації, млн. м ³	
					на випаро-рування W _в	на фільт-рацію W _ф	разом W _в +W _ф		Σq _{ит}	Σq _{брт}	надлишок	нестача	V _{кор}	Скид R
	16,00													0,00
Лютий		16,12	9,1	0,0	0,0	0,24	0,24	21,51	21,04	21,28	0,23			
	16,23													0,23
Березень		104,57	22,8	-46,4	-1,06	1,57	0,51	222,2	21,04	21,55	200,65			22,55
	192,91													178,33
Квітень		192,91	34,9	23,2	0,8	2,90	3,70	162,1	21,04	24,74	137,36			137,36
	192,91									V ₁ =338,24				178,33
Травень		189,89	30,1	58,0	1,75	2,85	4,60	46,76	48,65	53,25		6,50		
	186,97													171,83
Червень		170,21	29,4	104	3,1	2,55	5,65	20,44	48,65	54,30		33,86		
	153,55													137,97
Липень		134,71	26,5	151	4,0	2,02	6,02	17,36	48,65	54,67		37,31		
	115,87													100,66
Серпень		101,05	23,7	139	3,3	1,52	4,82	15,52	40,76	45,58		30,06		
	88,23													70,60
Вересень		69,88	19,3	92,8	1,8	1,05	2,85	18,62	48,65	51,50		32,88		
	53,54													37,72
Жовтень		35,65	12,2	46,7	0,57	0,53	1,10	13,83	48,65	49,75		35,92		
	17,76													1,80
Листопад		17,20	9,4	11,6	0,11	0,26	0,37	20,25	21,04	21,41		1,16		
	16,63										V ₂ =177,69			0,64
Грудень		16,81	9,7	0,0	0,0	0,25	0,25	21,64	21,04	21,29	0,35			
	16,98									V ₃ =0,35				0,99
Січень		16,49	9,4	0,0	0,0	0,25	0,25	20,30	21,04	21,29		0,99		
	16,00										V ₄ =0,99			0,00
	Сума						30,96				338,59	178,68		159,91
	Різниця										159,91			

Лабораторна робота №6 РОЗРАХУНОК БАГАТОРІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СТОКУ ВОДИ

Багаторічне регулювання стоку передбачає перерозподіл за допомогою водосховища стоку води із групи багатоводних років на період маловодних років. Воно використовується в тих випадках, коли стік одного маловодного року заданої забезпеченості менше гарантованого водоспоживання.

За багаторічного регулювання стоку цикл «наповнення – спрацювання» водосховища триває декілька років. Чим ближче зарегульована витрата (споживання) до величини середнього багаторічного значення стоку, тим більша глибина регулювання і тим довші будуть періоди наповнення і спрацювання водосховища. Межею багаторічного регулювання є повне вирівнювання стоку, тобто коли $q_{\text{брт}} > Q_0$ з урахуванням санітарних витрат та попусків у нижній б'єф. За багаторічного регулювання стоку потрібна значно більша, порівняно зі сезонним регулюванням, ємкість водосховища, тому, що крім ємкості, яка призначена для внутрішньорічного регулювання (сезонної складової), необхідна ще й ємкість для накопичення води за рахунок багатоводних років з метою її віддачі на потребу в маловодні роки (багаторічна складова).

При багаторічному регулюванні стоку виділяють дві групи методів розрахунків :

- 1) методи, які ґрунтуються на фактичних даних спостережень за стоком води;
- 2) узагальнені або ймовірнісні методи.

Перші з них полягають у встановленні параметрів водосховища (об'єму і віддачі), виходячи із фактичних рядів спостережень за стоком і припускаючи, що попередній режим стоку буде таким самим і в майбутньому періоді, на який проектується водосховище.

Узагальнені (статистичні або ймовірнісні) методи передбачають визначення параметрів водосховища за можливими комбінаціями в режимі стоку води. За цими методами визначають тільки багаторічний об'єм водосховища, необхідний для вирівнювання багаторічних коливань стоку. Сезонну ж складову визначають незалежно від багаторічної за спеціальними методами. Поділ водосховища на сезонний і багаторічний об'єми є умовним і виник у зв'язку з різними методами їх розрахунку.

Для визначення багаторічної складової водосховища узагальненим методом використовують графіки Я.Ф. Плешкова (або інших авторів), а сезонної - за графічним або аналітичним методом. Для розрахунків за згаданими методами необхідно мати параметри стокового ряду (кривої забезпеченості) - Q_0 , C_v і C_s . Їх можна визначити за наявності даних спостережень і посереднім шляхом. Ймовірнісні методи використовують частіше тоді, коли немає даних спостережень, а за наявності - їх використовують для контролю.

Розрахунки ймовірнісними методами багаторічного регулювання стоку виконують у відносних величинах. Так, річне значення стоку будь-якого i -того року характеризують модульним коефіцієнтом, тобто

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_0}. \quad (6.1)$$

Q, м ³ /с	10,34	10,99	9,91	10,49	...	4,02	13,0	177	29,0
W, млн. м ³	27,2	28,9	20,1	26,8	...	10,6	34,2	466	76,3
$\sum W$, млн. м ³	27,2	56,1	76,2	130	...	175	204,2	670	746,3

Як розрахунковий n+1 рік приймають середній за водністю рік Q_0 , для якого внутрішньорічний (помісячний) розподіл стоку відомий. Для визначення $V_{\text{сез}}$ графічним методом необхідно побудувати інтегральні криві притоку води n+1 року ($\sum W$) та її споживання ($\sum q_{\text{нт}}$).

Обчислення ординат інтегральної кривої припливу води виконують у табличній формі (табл. 6.1). Об'єми округляють до трьох значущих цифр, але не точніше 0,1.

Місячні об'єми стоку визначають як добуток середньомісячної витрати на кількість секунд у місяці ($2,63 \cdot 10^3$). Останній рядок у табл. 6.1 розраховують шляхом послідовного сумування місячних об'ємів стоку води. За одержаними даними будують на міліметровому папері інтегральну криву припливу води до водосховища, відкладаючи на графіку об'єми припливу води $\sum W$ на кінець кожного місяця. Зручніше будувати її починаючи з межени та відкладаючи по осі ординат об'єми стоку на кінець кожного місяця, а по осі абсцис — місяці в прийнятому масштабі. Споживання протягом року задано сталою витратою, тому інтегральна крива буде прямою лінією, яка утворюється шляхом з'єднання початкової з кінцевою ординатою кривої припливу умовами завдання об'єм води n+1 року прийнято рівним об'єму споживання ($\alpha=1$).

Кількісне значення сезонної складової водосховища обчислюють за графіком як найбільшу відстань по вертикалі між інтегральними кривими притоку і споживання з урахуванням масштабу (рис.6.1). У нашому випадку $V_{\text{сез}} = 343,2$ млн. м³.

Оскільки об'єм n+1 року дорівнює корисному споживанню $\sum q_{\text{нт}}$, то для визначення фактичного коефіцієнта зарегульованості α необхідно знати споживання бруто $\sum q_{\text{брт}}$.

Фактичний коефіцієнт зарегульованості визначають за формулою

$$\alpha = \frac{1,3 \cdot \sum q_{\text{нт}}}{W_0} \quad (6.9)$$

Тут, коефіцієнт 1,3 орієнтовно враховує втрати води з водосховища на випаровування і фільтрацію. Тоді

$$\alpha = (1,3 \cdot 19,0 \cdot 31,5 \cdot 10^6) / (28,0 \cdot 31,5 \cdot 10^6) = 0,88.$$

Для n+1 року $\sum q_{\text{нт}} = W_0$ ($\alpha=1$), тому фактичний коефіцієнт зарегульованості, враховуючи втрати, буде менше 1. Тоді в об'ємних одиницях $V_{\text{сез}}$ за розрахованого коефіцієнта α можна визначити із співвідношення

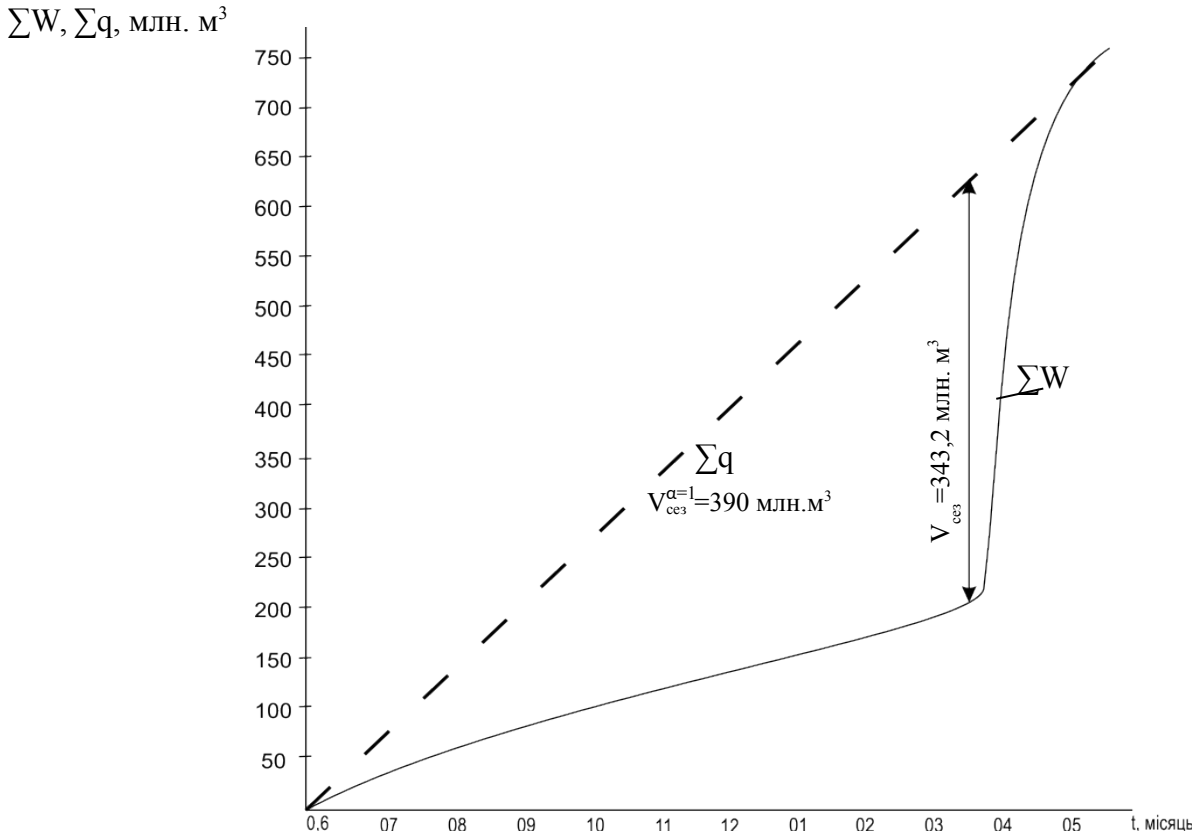


Рис. 6.1 – Інтегральні криві $n+1$ року для визначення сезонної ємкості водосховища багаторічного регулювання стоку води на річці

$$V_{\text{сез}}^{\alpha=0,88} = V_{\text{сез}}^{\alpha=1} \cdot \alpha; \quad (6.10)$$

$$V_{\text{сез}}^{\alpha=0,88} = 390 \cdot 0,88 = 343,2 \text{ млн. м}^3.$$

Фактичний коефіцієнт сезонної ємкості водосховища за формулою (6.5), при $\alpha=0,88$ становитиме

$$\beta_{\text{сез}} = \frac{V_{\text{сез}}^{0,88}}{W_0}; \quad (6.11)$$

$$\beta_{\text{сез}} = \frac{343}{28,0 \cdot 31,5 \cdot 10^6} = 0,4.$$

2. Багаторічну складову водосховища можна визначити за і рафіками Я.Ф.Плешкова (Додаток). Вихідні дані для цього відомі з умов задачі та попередніх розрахунків, а саме: $P=75\%$; $C_v=0,43$; $\alpha=0,88$.

Коефіцієнт багаторічної ємкості водосховища, який визначено за графіками Я.Ф. Плешкова, дорівнює 0,38. Тоді в об'ємних одиницях багаторічна ємкість водосховища буде

$$V_{\text{баг}} = 0,38 \cdot 882 = 335,2 \text{ млн. м}^3.$$

Отже, всі складові об'єми водосховища для багаторічного регулювання стоку обчислені, і тепер можна визначити його повний об'єм, тобто

$$V_{\text{пов}} = 343,2 + 335,2 + 16,0 = 694,4 \text{ млн. м}^3.$$

Втрати на випаровування і фільтрацію враховані лише орієнтовно (коефіцієнт 1,3), а тому потребують уточнення.

Величину втрат визначають виходячи із середнього значення повного об'єму водосховища, який обчислюють за формулою

$$V_{\text{пов.сер}} = V_{\text{МО}} + 0,5 \cdot (V_{\text{сез}} + V_{\text{баг}}); \quad (6.12)$$

$$V_{\text{пов.сер}} = 16,0 + 0,5 \cdot (343,2 + 335,2) = 355,2 \text{ млн. м}^3.$$

За допомогою топографічних характеристик (кривої площ) визначають площу дзеркала, яка за умов середнього об'єму водосховища 355,2 млн. м³ дорівнює 38,5 млн. м³. Тоді об'єм втрат від випаровування можна визначити за формулою (5.2), тобто

$$W_B = 484,2 \cdot 38,5 / 10^3 = 18,6 \text{ млн. м}^3.$$

В останньому рівнянні до розрахунку включають середньобагаторічне значення (норму) розрахункового випаровування за рік, яке було визначено (лаб. робота №5), воно дорівнює 484 мм.

Об'єм втрат на фільтрацію за рік, як було визначено для середніх гідрогеологічних умов, становить 20% від середнього об'єму води у водосховищі $V_{\text{пов.сер}}$, тобто

$$W_{\text{ф}} = 0,2 \cdot 355,2 = 71,0 \text{ млн. м}^3.$$

У такому випадку річне споживання $\sum q_{\text{брт}}$ (при $q_{\text{нт}} = 19,0 \text{ м}^3/\text{с}$ об'єм нетто буде $\sum q_{\text{нт}} = 19 \cdot 31,5 \cdot 10^6$), враховуючи формулу (6.2) становитиме

$$\sum q_{\text{нт}} = 598,5 + 18,6 + 71,0 = 688,1 \text{ млн. м}^3.$$

Уточнений коефіцієнт зарегульованості α' за формулою (6.3) дорівнює

$$\alpha' = 688,1 / 882,0 = 0,78.$$

Коефіцієнти зарегульованості (α , α' і т.д.) повинні бути завжди менше одиниці.

За графіками Я.Ф. Плешкова (Додаток) визначаємо уточнений коефіцієнт багаторічної ємкості водосховища ($\beta_{\text{баг}}^{\text{п}}$) за уточненим коефіцієнтом зарегульованості $\alpha' = 0,78$ та раніше встановленими значеннями $C_v = 0,43$ і $P = 75\%$. За цих умов $\beta_{\text{баг}}^{\text{п}} = 0,88$. Тоді в об'ємних одиницях уточнена багаторічна ємкість водосховища складатиме

$$V_{\text{баг}} = 0,88 \cdot 882,0 = 776,16 \text{ млн. м}^3.$$

Повний уточнений об'єм водосховища, визначений за формулою (6.8), буде

$$V_{\text{пов}} = 343,2 + 776,16 + 16,0 = 1135,36 \text{ млн. м}^3.$$

Отриманий новий (уточнений) об'єм водосховища зіставляємо з початковим. Розбіжність між ними не повинна перевищувати 5% від початкового об'єму водосховища.

Порівняння проводять за таким відношенням:

$$\Delta V = \frac{|V'_{\text{пов}} - V_{\text{нов}}| \cdot 100\%}{V_{\text{нов}}} \quad (6.13)$$

У формулі (6.13) чисельник виражають в абсолютних значеннях, тобто він завжди є числом додатнім.

Для прикладу

$$\Delta V = |429,8 - 694,4| \cdot 100\% / 694,4 = 38,1\%.$$

Оскільки розбіжність між початковим визначеним і уточненим повними об'ємами водосховища складає більше 5%, то проводять друге наближення,

приймавши $V_{\text{пов}}$ за початковий об'єм. За формулою (6.12) розраховують нове значення середнього повного об'єму водосховища, яке дорівнюватиме

$$V_{\text{пов.сер}} = 16,0 + 0,5 \cdot (343,2 + 70,6) = 222,8 \text{ млн. м}^3.$$

За топографічними характеристиками визначають площу дзеркала водосховища при цьому новому значенні його повного середнього об'єму. При об'ємі 228,8 млн. м³ площа дзеркала водосховища за даними кривої площ (лаб. робота №1) дорівнює 33,0 млн. м³. Тоді, об'єм втрат на випаровування буде становити

$$W_B = 484,2 \cdot 33,0 / 10^3 = 16,0 \text{ млн. м}^3.$$

Об'єм втрат на фільтрацію за нового значення середнього повного об'єму $W_{\text{пов.сер}}$ водосховища дорівнює $W_{\text{ф}} = 0,2 \cdot 222,8 = 44,6 \text{ млн. м}^3$.

У такому випадку загальне водоспоживання буде

$$\sum Q_{\text{врт}} = 598,5 + 16,0 + 44,6 = 659,1 \text{ млн. м}^3.$$

За уточненим значенням сумарного (загального) споживання обчислюють нове значення коефіцієнта зарегульованості стоку

$$\alpha_{\text{III}} = 659,1 / 882,0 = 0,75.$$

Тепер, отримавши нове значення коефіцієнта зарегульованості, можна визначити за графіками Я.Ф. Плешкова уточнену величину $\beta_{\text{бар}}$ при раніше прийнятих $C_v = 0,43$ і $P = 75\%$. У такому разі $\beta_{\text{бар}} = 0,06$.

Тоді, в об'ємних одиницях уточнений об'єм багаторічної складової водосховища буде

$$V_{\text{бар}} = 0,06 \cdot 882 = 52,9 \text{ млн. м}^3.$$

Повний уточнений об'єм водосховища дорівнюватиме

$$V_{\text{пов}} = 343,2 + 52,9 + 16,0 = 412,1 \text{ млн. м}^3.$$

За формулою (13) зіставляють цей об'єм з попереднім отриманим

$$\Delta V_{\text{I}} = (412,1 - 429,8) / 429,8 = 17,7 / 429,8 = 4,1\%.$$

Розбіжність останнього уточненого об'єму водосховища з попереднім становить менше 5% , тому розрахунок вважається закінченим. У іншому разі розрахунок слід було б повторити, прийнявши $V_{\text{пов}}$ за початковий об'єм водосховища.

Отже, повний об'єм водосховища для багаторічного регулювання стоку на річці становитиме 412,1 млн. м³; за цим об'ємом та за топографічними характеристиками водосховища (за кривою об'ємів) визначають відмітку нормального підпірного горизонту НПП: $\text{НПП}_{\text{бар}} = 80,6 \text{ м}$.

Отримані дані $\text{НПП}_{\text{бар}}$ позначають на топографічних характеристиках водосховища (лаб. робота №1).

ЧАСТИНА II

ЗАВДАННЯ

Лабораторна робота №1 ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОБУДОВА ТОПОГРАФІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОСХОВИЩА

Завдання. Обчислити та побудувати топографічні криві (характеристики) водосховища.

Дано: 1. Результати обробки планово-висотної зйомки долини річки, в межах якої проектується водосховище (табл. 1.1).

2. Площі ділянок між сусідніми горизонталями в межах водосховища, що проектується.

Потрібно: 1. Обчислити, починаючи від дна майбутнього водосховища, площі водного дзеркала та часткові об'єми води між суміжними горизонталями, які будуть утворюватися після затоплення чаші водосховища.

2. Для кожного перерізу горизонталей водосховища визначити середні глибини за частковими об'ємами та площами між сусідніми горизонталями.

3. За обчисленими даними побудувати топографічні криві для всього діапазону зміни горизонту води у водосховищі.

Таблиця 1.1 – Результати планово-висотної зйомки долини річки, в межах якої проектується водосховище

Відмітка горизонту води, м	Площа водного дзеркала, ω_i , млн м ³	Відмітка горизонту води, м	Площа водного дзеркала, ω_i , млн м ³	Відмітка горизонту води, м	Площа водного дзеркала, ω_i , млн м ³
1	2	3	4	5	6
Варіант 1		Варіант 5		Варіант 9	
59	0,0	52	0,0	59	0,0
60	0,8	53	0,5	60	0,6
61	0,9	54	0,8	61	0,9
62	1,0	56	1,8	62	1,3
63	2,0	59	2,5	65	2,8
67	8,0	62	9,0	67	9,0
70	15,5	67,5	12,5	62	15,7

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6
Варіант 2		Варіант 6		Варіант 10	
61	0,0	42	0,0	61	0,0
62	0,8	43	0,5	62	0,8
63	0,9	44	1,2	63	1,4
63,5	1,5	46	1,8	63,5	2,5
64	2,8	48	3,5	66	4,8
68	9,0	52	9,0	70	10,0
72	13,5	57	14,0	75	18,6
Варіант 3		Варіант 7			
59	0,0	55	0,0		
60	0,8	56	0,7		
61	0,9	57	0,8		

62	1,0	58	1,5		
63	2,0	59	4,5		
67	8,0	62	10,0		
72	12,0	68	16,0		
Варіант 4		Варіант 8			
61	0,0	57	0,0		
62	0,8	58	0,8		
63	0,9	59	1,5		
63,5	1,5	61	1,9		
64	2,8	65	3,5		
68	9,0	69	10,8		
73	13,5	72	15,8		

Лабораторна робота №2
ВИЗНАЧЕННЯ МЕРТВОГО ОБ'ЄМУ ВОДОСХОВИЩА

Завдання. Розрахувати за детальним способом МО водосховища, яке проектується на річці (див. лабораторну роботу №1).

Потрібно:

1. Розрахувати МО водосховища на весь період його роботи.
2. Визначити горизонт МО та позначити його на кривій об'ємів $V = f(H)$.

Вихідні дані:

Топографічні характеристики водосховища, що проектують (див. лабораторну роботу №1).

№ варіанту	Середня багаторічна каламутність води (ρ_0), г/м ³	Термін служби водосховища Т, роки	Корисне водоспоживання $q_{нт}$, м ³ /с	Норма річного стоку Q_0 , м ³ /с
1	120	30	13	28
2	173	40	13	26
3	120	30	12	27
4	105	25	15	30
5	100	30	11	28
6	130	25	10	20
7	158	30	13	28
8	149	20	13	24
9	115	25	15	28
10	135	25	12	24

Лабораторна робота №3 РОЗРАХУНОК ВТРАТ ВОДИ З ВОДОСХОВИЩА

Завдання 1. Обчислити втрати води на додаткове випаровування з поверхні водосховища, що проектують на річці.

Потрібно:

1. Визначити забезпеченість додаткового випаровування з водної поверхні.
4. Обчислити додаткове випаровування з водної поверхні для сезонного регулювання стоку Р%-тої забезпеченості.
5. Розрахувати внутрішньорічний розподіл розрахованою випаровування з водосховища.

Вихідні дані:

№ варіанту	Забезпеченість сезонного регулювання стоку водосховищем Р, %	Норма річного випаровування з водної поверхні водосховища, мм	Коефіцієнт варіації річного випаровування з водної поверхні, C_v	Норма річних опадів, мм	Коефіцієнт варіації річних опадів, C_v
1	60	690	0,2	465	0,1
2	60	800	0,2	565	0,2
3	60	690	0,1	690	0,1
4	75	750	0,1	625	0,2
5	75	700	0,2	630	0,2
6	50	730	0,2	580	0,1
7	50	720	0,1	750	0,2
8	50	510	0,1	580	0,1
9	40	720	0,2	760	0,2
10	75	730	0,2	700	0,1

Завдання 2. Визначити втрати води на фільтрацію з водосховища, яке проектується на річці.

Вихідні дані:

Варіант 1, 4, 7, 10.

Гідрогеологічні умови «середні».

Варіант 2, 5, 8.

Гідрогеологічні умови «добрі».

Варіант 3, 6, 9.

Гідрогеологічні умови «погані».

Лабораторна робота №4
РОЗРАХУНОК СЕЗОННОГО РЕГУЛЮВАННЯ СТОКУ ВОДИ

Завдання. Розрахувати сезонне регулювання стоку Р-ої забезпеченості на річці без обліку втрат води з водосховища за першим варіантом експлуатації.

Потрібно: 1. Визначити корисний об'єм водосховища та початок його спрацювання.

2. Розрахувати повний об'єм водосховища та об'єм скиду води в нижній б'єф.

3. Розрахувати режим роботи водосховища за першим варіантом його експлуатації.

Вихідні дані:

Топографічні характеристики водосховища з лаб. роботи №1.

№ варіанту	Забезпеченість (приплив) внутрішньорічного розподілу стоку Р, %	Місяць											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Місячне корисне водоспоживання, м ³ /с													
1	60	6	6	6	16	16,1	16,1	16,9	16,5	16,5	16	6	6
2	60	9	9	9	9	19,5	19,8	19,8	19,8	10	10	9	9
3	60	6	6	6	16	16,1	16,1	16,9	16,5	16,5	16	6	6
4	75	8	8	8	10	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	10	8
5	75	8	8,1	9	14	19,1	19,8	19,3	18,5	18	18	9,1	8
6	50	8	8	8	18,1	18,1	18,9	18,9	18,9	18,5	18,5	8	8
7	50	7	7	7	7,5	17,5	17,8	17,8	18	18	17	7	7
8	50	5	5	5	5,1	5,5	5,5	5,5	3,5	5,5	5,0	5,0	5
9	40	3	3	3	3,1	3,1	13,5	13,5	13,5	13,5	13	3	3
10	60	8	8	8	12	18,5	20,8	19,8	19,8	12	10	9	8

Лабораторна робота №5

РОЗРАХУНОК СЕЗОННОГО РЕГУЛЮВАННЯ СТОКУ З УРАХУВАННЯМ ВТРАТ ВОДИ З ВОДОСХОВИЩА

Завдання. Розрахувати сезонне регулювання стоку води водосховищем з обліком втрат за першим способом.

Потрібно:

1. Обчислити щомісячні об'єми втрат води на додаткове випаровування.
5. Визначити місячні значення об'ємів втрат води на фільтрацію.
6. Розрахувати режим регулювання за першим способом з обліком втрат води з водосховища.
7. Визначити корисний і повний об'єми водосховища та відмітку їх горизонтів.

Вихідні дані:

Для усіх варіантів:

1. Результати розрахунку регулювання стоку без втрат води (лаб. робота №4).
2. Мертвий об'єм водосховища (лаб. робота №2).
3. Топографічні характеристики водосховища (рис. з лаб. роботи №1).

Лабораторна робота №6

РОЗРАХУНОК БАГАТОРІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СТОКУ ВОДИ

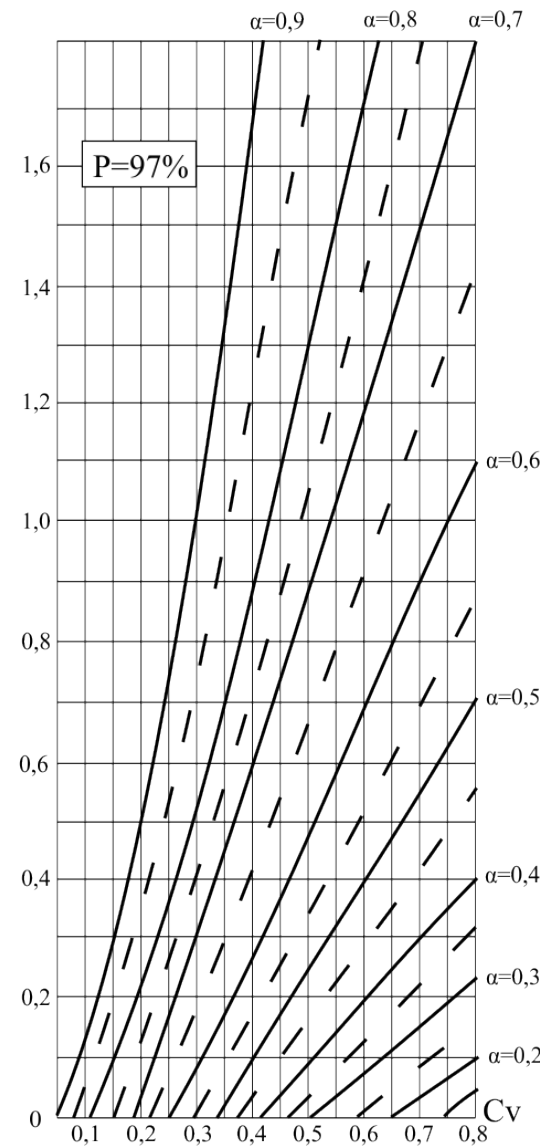
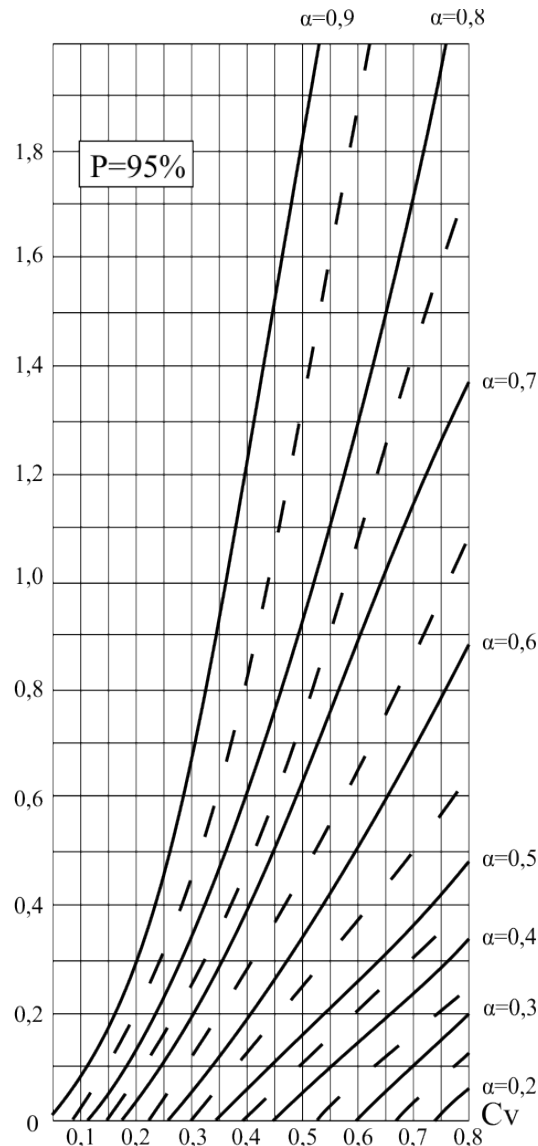
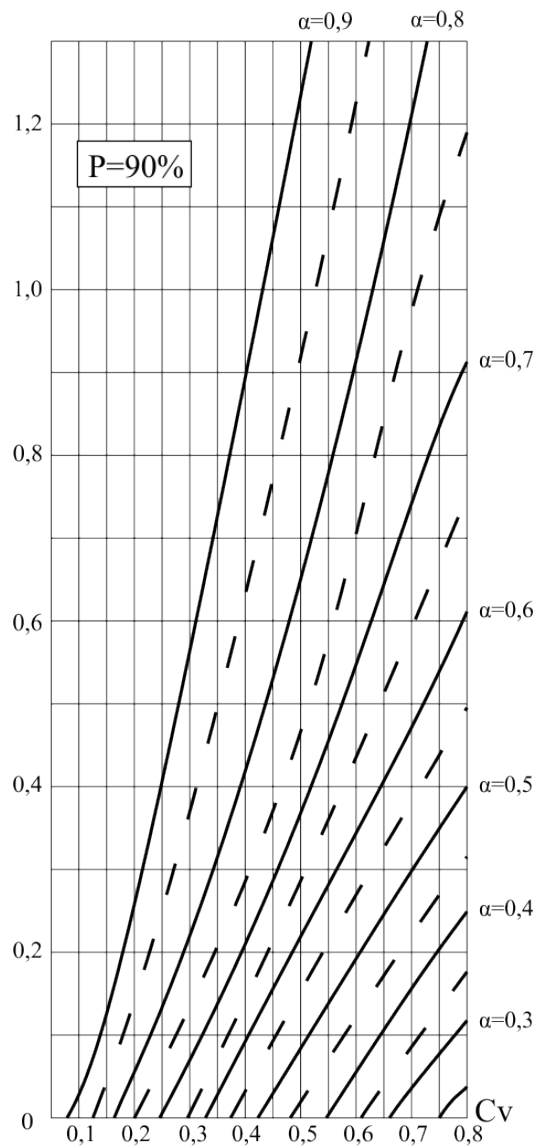
Завдання. Розрахувати багаторічне регулювання іти води водосховищем, яке проектують на річці.

Потрібно: 1. Обчислити коефіцієнт сезонної ємкості водосховища.

2. Розрахувати багаторічне регулювання річкового стоку води Р%-ої забезпеченості при відомому C_v .

Вихідні дані:

№ варіанту	Середній за водністю рік (Q_0), m^3/c	Корисне споживання води протягом року ($q_{нт}$), m^3/c	Забезпеченість річного стоку (Р), %	Коефіцієнт варіації річного стоку, C_v	Місяць									
					6	7	8	9	10	...	2	3	4	5
					Помісячний розподіл стоку (припливу) n+1 року (Q), m^3/c									
1	25	15	90	0,65	9,58	9,99	7,91	9,24	2,4	...	3,82	12	165	32
2	26	13	90	0,7	9,32	9,45	7,64	9,24	2,8	...	3,44	13	157	30
3	28	16	95	0,7	10,3	10,4	7,64	10,2	0,8	...	4,44	13	168	30
4	30	20	90	0,5	10,88	11,4	9,64	10,9	2,7	...	4,84	14	188	32
5	20	12	90	0,6	7,88	8,45	8,64	8,95	1,2	...	3,84	12	158	22
6	22	13	95	0,75	9,58	10,4	8,91	9,75	1,5	...	3,32	11	165	31
7	27	14	90	0,7	9,92	9,95	7,64	9,24	1,7	...	3,64	13	177	31
8	28	15	90	0,55	10,32	10,6	8,64	10,8	1,8	...	4,24	12	164	32
9	30	18	90	0,5	10,88	11,4	9,94	9,95	1,8	...	4,84	13	188	30
10	20	12	90	0,6	7,58	8,25	8,64	8,95	0,8	...	3,64	11	155	23



Графіки Я.Ф. Плешкова для визначення багаторічної ємності водосховища ($C_s=2C_v$)

Зміст

Частина I. Теоретичні положення	3
Лабораторна робота №1. Визначення та побудова топографічних характеристик водосховища	3
Лабораторна робота №2. Визначення мертвого об'єму водосховища	5
Лабораторна робота №3. Розрахунок втрат води з водосховища	8
Лабораторна робота №4. Розрахунок сезонного регулювання стоку води	13
Лабораторна робота №5. Розрахунок сезонного регулювання стоку з урахуванням втрат води з водосховища	16
Лабораторна робота №6. Розрахунок багаторічного регулювання стоку води	21
Частина II. Завдання	27
Лабораторна робота №1.	27
Лабораторна робота №2.	28
Лабораторна робота №3.	29
Лабораторна робота №4.	30
Лабораторна робота №5.	31
Лабораторна робота №6.	31
Додаток. Графіки Я.Ф. Плєшкова	32