

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК

до практичних робіт з дисципліни
"Гідравліка річок та водоймищ"

Одеса-2004

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до практичних робіт
з д и с ц и п л і н и
"Гідравліка річок та водоймищ "

Затверджено
методичною радою університету
протокол №____ від _____.____.2004

Одеса-2004

Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни "Гідравліка річок та водоймищ" для студентів III курсу очної та заочної форм навчання за спеціальністю "Гідроекологія". / Даус М.Є. – Одеса, ОДЕКУ, 2004. – 37с.

З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК

до практичних робіт
з д и с ц и п л і н и
"ГІДРАВЛІКА РІЧОК ТА ВОДОЙМИЩ"

Укладачі: к.г.н., доц. Даус М.Є.

Підп. до друку
Умовн. друк. арк.

Формат
Тираж

Папір
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

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

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

**З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до практичних робіт з дисципліни
"Гідравліка річок та водоймищ "**

Одеса – 2013

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до практичних робіт з дисципліни
"Гідравліка річок та водоймищ "

Напрямок підготовки
*"Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване
природокористування"*

"Затверджено
на засіданні методичної комісії
природоохоронного факультету
Протокол № __ від ____2013р.

Одеса - 2013

Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни "Гідравліка річок та водоймищ" для студентів III курсу очної та заочної форм навчання за напрямом "Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування". / Даус М.Є. – Одеса, ОДЕКУ, 2013. – 42с.

З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до практичних робіт з дисципліни
"Гідравліка річок та водоймищ "

Напрямок підготовки
***"Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване
природокористування"***

Укладач: Даус М.Є., к.геогр.н., доц.,

Підп. до друку
Умовн. друк. арк.

Формат
Тираж

Папір
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до практичних робіт з дисципліни
"Гідравліка річок та водоймищ "

“Затверджено”

на засіданні методичної комісії
природоохоронного факультету

Протокол № ____ від ____ . ____ 2013 р.

Декан факультету _____ (Чугай А.В.)
(підпис)

“Затверджено”

на засіданні кафедри гідроекології
і водних досліджень

Протокол № ____ від _____ 2013 р.

Зав. кафедри _____ (Лобода Н.С.)
(підпис)

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

В збірнику методичних вказівок з дисципліни «Гідравліка річок та водоймищ» розглядаються розділи, що стосуються практичного застосування основних законів руху і рівноваги рідини при вирішенні широкого кола прикладних задач.

Мета методичних вказівок – формування у студентів вміння використовувати теоретичні закони руху і рівноваги рідини при вирішенні широкого кола прикладних задач.

Задача методичних вказівок – навчити студентів визначати гідростатичний тиск на плоскі довільно орієнтовані стінки і на криволінійні поверхні; використовувати рівняння Бернуллі для рішення різних інженерних задач; прищепити уміння користуватися у відповідних випадках гідравлічними довідниками для визначення втрат енергії по довжині і місцевих втрат енергії потоку, будувати криві вільної поверхні різними способами, а також обчислювати морфометричні показники водойми.

Контроль поточних знань виконується на базі кредитно-модульної системи організації навчання.

В дисципліні “Гідравліка рік і водоймищ” використовується 3 змістовних модулів з практичної частини, які складаються із 9 тем.

В якості форми поточного контролю підготовки до практичних занять використовується усне опитування та відповіді на запитання до кожної з тем.

В якості форми поточного контролю з практичного модулю №1 використовується проведення контрольної роботи за темами № 1 – 3, практичного модулю №2 – відповіді на запитання комп’ютерного тесту за темами № 4 – 8, практичного модулю №3 - усне опитування при захисті виконаної практичної роботи за темою №9.

Критерії оцінювання

Максимальна сума балів з **ЗМ-П1** – 15 балів

Максимальна сума балів з **ЗМ-П2** – 25 балів

Максимальна сума балів з **ЗМ-П3** – 10 балів

Загальна кількість балів складає **50 балів**.

Практичні завдання виконуються кожним студентом індивідуально. Варіант по кожній з тем призначається викладачем для кожного студента.

ТЕМА № I

ТИСК РІДИНИ НА ПЛОСКІ СТІНКИ

Теоретичні положення

Гідростатичним тиском називається сила впливу навколишньої рідини, спрямованого по внутрішній нормалі до площадки дії. Гідростатичний тиск діє нормально до площадки дії і спрямований по внутрішній нормалі. Гідростатичний тиск у даній точці не залежить від орієнтування площадки, а залежить тільки від координат точки. Основне рівняння гідростатики:

$$Z + \frac{P}{\gamma} = \text{const}, \quad (1.1)$$

де Z - геометрична висота, тобто відстань від площини відліку до розглянутої точки; $\frac{P}{\gamma}$ – п'єзометрична висота, P - тиск рідини в розглянутій точці; γ - питома вага рідини, це відношення сили тяжіння G до об'єму рідини W та вимірюється у Н/м^3 . Питома вага γ і густина ρ пов'язані між собою залежністю $\gamma = \rho g$, де g – прискорення вільного падіння, м/с^2 . Для будь-яких частинок даного обсягу рідини основне рівняння гідростатики, кожен член якого має розмірність довжини, можна записати у виді:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} = \dots = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} = \text{const}.$$

З рівняння (1.1) можна одержати рівняння для гідростатичного тиску в точці:

$$P = P_0 + \gamma h, \quad (1.2)$$

де P - повний гідростатичний тиск у точці; P_0 - тиск на вільній поверхні; h - глибина занурення точки. Якщо не враховувати атмосферний тиск, то $P = \gamma h$ - надлишковий гідростатичний тиск у точці.

Величина гідростатичного тиску на плоску стінку визначається за формулою:

$$P = (P_0 + \gamma h_c) \omega, \quad (1.3)$$

де h_c - глибина занурення центра ваги плоскої стінки, ω - площа плоскої стінки.

Величина надлишкового гідростатичного тиску на плоску стінку визначається за формулою:

$$P_{\text{надл}} = \gamma h_c \omega. \quad (1.4)$$

Таким чином, сила гідростатичного тиску (абсолютного чи надлишкового), що діє на плоску фігуру будь-якої форми, дорівнює площі цієї фігури, помноженій на відповідний гідростатичний тиск у центрі ваги цієї фігури.

Величину гідростатичного тиску на плоску стінку можна представити у вигляді епюри гідростатичного тиску. Епюра гідростатичного тиску дає наочне уявлення про розподіл, величину і напрямок гідростатичного тиску.

Припустимо, що стінка AB шириною b зазнає тиску води висотою h . Якщо в кожній точці, що лежить на лінії AB , відновити перпендикуляри відрізків γh , які дорівнюють тиску рідини в цих точках, то кінці відрізків розташуються на одній прямій AC (рис.1.1).

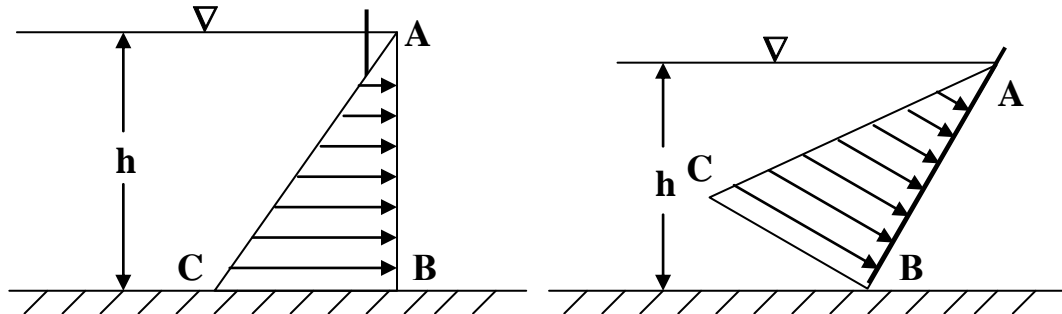


Рис.1.1 – Епюри гідростатичного тиску

Трикутник ABC є діаграмою тиску і називається **епюрою** надлишкового гідростатичного тиску. Отже, для побудови епюри гідростатичного тиску на плоску стінку необхідно, з огляду на властивості гідростатичного тиску в точці, відкласти на перпендикулярі до стінки величину гідростатичного тиску в найнижчій точці B і з'єднати точку C з точкою A . Величину гідростатичного тиску можна визначити за допомогою епюри. Вона чисельно дорівнює площі трикутника ABC , помноженій на ширину стінки b і питому вагу γ . Стінка може випробувати двосторонній тиск води (рис.1.2). Тоді рівнодіюча тиску води буде дорівнювати різниці більшого і меншого тисків, тобто

$$P = P_1 - P_2 \quad (1.5)$$

Епюра сумарного гідростатичного тиску буде визначена у вигляді різниці, тобто трапеції $ABCD$. Центр тиску - точка додатку рівнодіючої тиску рідини на дану фігуру. Центр тиску розташований нижче центра ваги. Місце положення центра тиску можна визначити за формулою

$$l_d = l_c + \frac{J_c}{\omega \cdot l_c}, \quad (1.6)$$

де l_d - глибина занурення центра тиску; l_c - глибина занурення центра ваги; J_c - момент інерції стінки, щодо осі, що проходить через поверхню води; ω - змочена площа стінки.

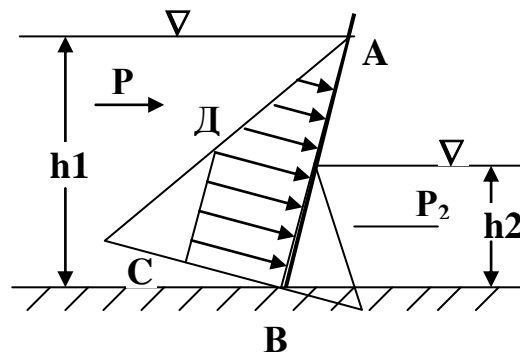


Рис.1.2 – Епюра сумарного гідростатичного тиску

Контрольні запитання:

1. Дати визначення гідростатичного тиску.
2. Назвати дві властивості гідростатичного тиску.
3. Основна формула для розрахунку надлишкового гідростатичного тиску на плоску стінку та її складові.
4. Поняття епюри гідростатичного тиску.

Завдання до теми №1

Розв'язати задачі 1.1 – 1.8.

Задача № 1.1 (рис.1.3).

Вертикальний щит, складений з горизонтально лежачих дощок, які розташовані у пазах бетонного каналу прямокутного перерізу, стримує тиск води глибиною h . Висота щита $h = 1,5$ м, ширина його $b = 2$ м, ширина кожної дошки $a = 0,25$ м.

Визначити: 1) тиск на щит; 2) тиск P_d на нижню дошку щита.

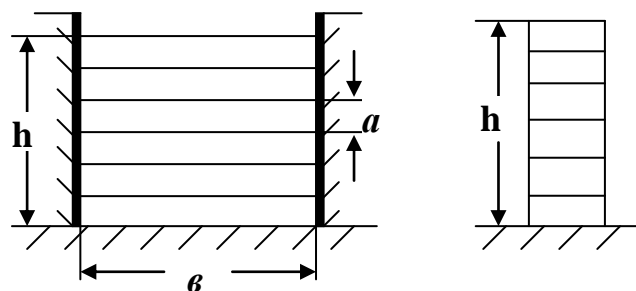


Рис.1.3 – Вид плоскої поверхні до задачі 1.1

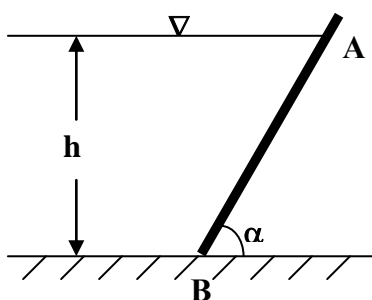


Рис.1.4 - Вид плоскої поверхні до задачі 1.2

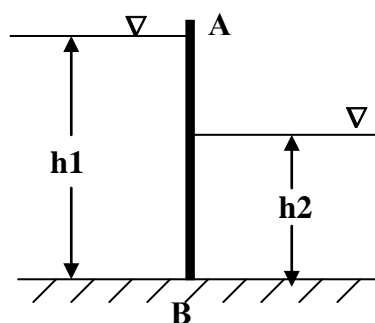


Рис.1.5 - Вид плоскої поверхні до задачі 1.3

Задача №1.2 (рис.1.4).

Визначити величину тиску на стінку AB шириною b за формулою 1.4, якщо $h = 2$ м; $\gamma = 9800$ Н/м³; $\alpha = 60^\circ$.

Варіанти до задачі 1.2

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, b , м	1	1,5	2,0	2,5	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2

Задача № 1.3 (рис.1.5). Визначити величину сумарного тиску на щит AB шириною b при двосторонньому тиску води на щит при $h_1 = 3$ м; $h_2 = 1$ м; $\gamma = 9800$ Н/м³.

Варіанти до задачі 1.3

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, b , м	1,0	1,25	1,5	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0

Задача № 1.4(рис.1.6). Визначити величину тиску води при $h_1 = 2,5\text{ м}$; $h_2 = 1,5\text{ м}$; $\gamma = 9800\text{ Н/м}^3$. Кут нахилу стінки α і її ширина b за варіантами.

Варіанти до задачі 1.4

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, b , м	1,5	1,65	1,80	1,95	2,10	2,30	2,40	2,55	2,80
Кут нахилу α , град	45	50	55	60	65	70	75	80	85

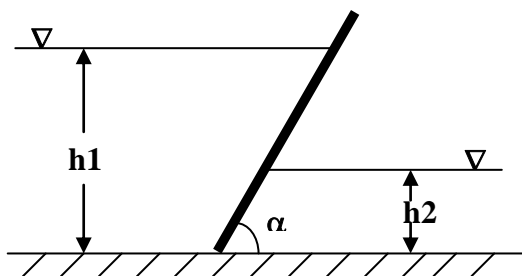


Рис.1.6 - Вид плоскої поверхні до задачі 1.4

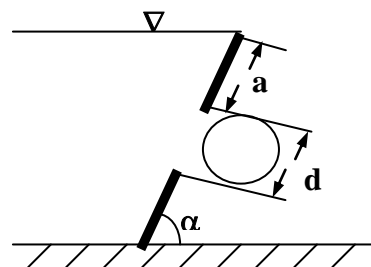


Рис.1.7 - Вид плоскої поверхні до задачі 1.5

Задача № 1.5 (рис.1.7). Визначити величину тиску води на круглий щит діаметром d , що закриває отвір у похилій стінці. Відомо, що відстань $a = 1,0\text{ м}$; $\alpha = 60^\circ$, $\gamma = 9800\text{ Н/м}^3$, діаметр d за варіантами.

Варіанти до задачі 1.5

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Діаметр d , м	0,3	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75

Задача № 1.6 (рис.1.8). Визначити величину тиску на ділянках AB , BP і CD на стінку ламаного обрису за допомогою формули 1.4, якщо: $h_1 = 1\text{ м}$; $h_2 = 1\text{ м}$; $h_3 = 1,5\text{ м}$; $\alpha = 45^\circ$; $\gamma = 9800\text{ Н/м}^3$.

Варіанти до задачі 1.6

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, b , м	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,2	4,8

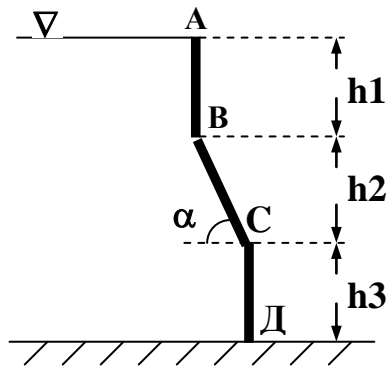


Рис.1.8 - Вид плоскої поверхні до задачі 1.6

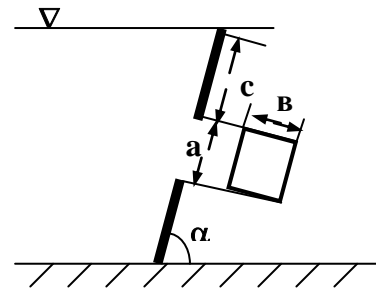


Рис.1.9 - Вид плоскої поверхні до задачі 1.7

Задача № 1.7 (рис.1.9). Визначити величину гідростатичного тиску води на щит, розташований під кутом α при $b = 2$ м, $a = 2,5$ м, що закриває отвір у похилій плоскій стінці. Відстань $C = 2$ м, $\gamma = 9800$ Н/м³.

Варіанти до задачі 1.7

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кут нахилу α , град	30	35	40	45	50	55	60	65	70

Задача № 1.8 (рис.1.10). Побудувати епюри гідростатичного тиску на стінку шириною b ламаного обрису і визначити величини тиску на ділянках AB , BC і CD за допомогою формули 1.4, якщо $h = 5$ м; $h_1 = 2$ м; $BC = 3$ м, $\gamma = 9800$ Н/м³.

Варіанти до задачі 1.8

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, b , м	1,0	1,5	2,0	2,5	2,8	3,2	3,6	3,8	4,0

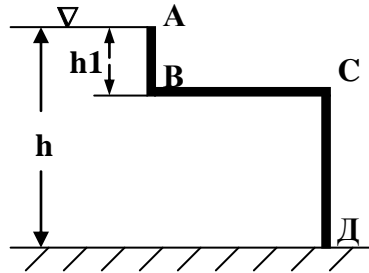


Рис.1.10 - Вид плоскої поверхні до задачі 1.8

ТЕМА № 2

ТИСК РІДИНИ НА КРИВОЛІНІЙНІ ПОВЕРХНІ

Теоретичні положення

Криволінійні поверхні, що випробовують тиск води, можуть бути будь-якого виду. Найбільше часто зустрічаються циліндричні поверхні. Будемо розглядати тільки надлишковий гідростатичний тиск на циліндричні поверхні (рис.2.1).

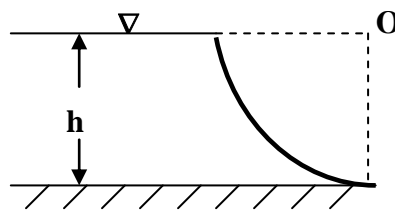


Рис.2.1 – Криволінійна циліндрична поверхня

Сумарний гідростатичний тиск на криволінійну циліндричну поверхню обчислюється по формулі:

$$P = \sqrt{P_{\text{гор}}^2 + P_{\text{верт}}^2} \quad (2.1)$$

де $P_{\text{гор}}$ - горизонтальна складова сумарного тиску на криволінійну поверхню, дорівнює тиску рідини на проекцію даної поверхні на

вертикальну площину ω_Z , тобто $P_{гор}$ визначається як тиск на плоску стінку:

$$P_{гор} = \gamma h_c \omega_Z; \quad (2.2)$$

$P_{верт}$ - вертикальна складова тиску рідини P , дорівнює вазі рідини в об'ємі тіла тиску, обмеженого даною криволінійною поверхнею, вертикальною площиною, проведеною через нижню утворюючу криволінійної поверхні і вільну поверхню рідини, тобто

$$P_{верт} = \gamma W, \quad (2.3)$$

γ - питома вага рідини; W - об'єм тіла тиску.

У залежності від форми поверхні розрізняють дійсне тіло тиску (AOB) заповнене рідиною (рис.2.2). У випадку дійсного тіла тиску вертикальна складова тиску $P_{верт}$ спрямована вниз і є позитивною величиною. Якщо об'єм тіла тиску не заповнений рідиною ($A'O'B'$) то це фіктивне тіло тиску (рис.2.3). У випадку фіктивного тіла тиску вертикальна складова тиску $P_{верт}$ спрямована вгору і є негативною величиною. Центром тиску для криволінійної поверхні є точка, у якій рівнодіюча сумарного тиску перетинає криволінійну поверхню (точка A) (рис.2.4, 2.5). Кут нахилу α рівнодіючої сумарного тиску до горизонтальної лінії визначається з виразу

$$\text{tg}\alpha = \frac{P_{верт}}{P_{гор}}. \quad (2.4)$$

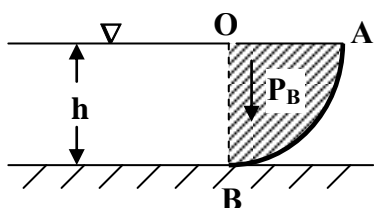


Рис.2.2 – Дійсне тіло тиску

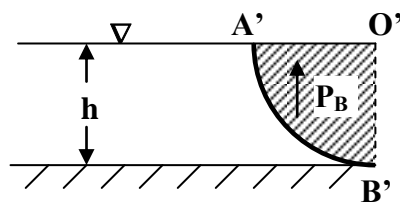


Рис.2.3 – Фіктивне тіло тиску

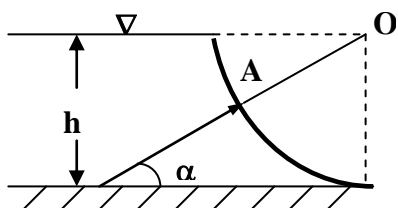


Рис.2.4 – Рівнодіюча сумарного тиску для фіктивного тіла

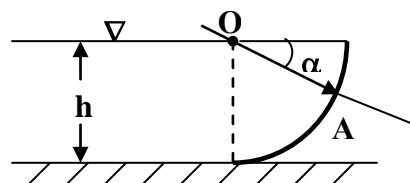


Рис.2.5 – Рівнодіюча сумарного тиску для дійсного тіла

Рівнодіюча сумарного тиску повинна проходити через центр циліндричної поверхні (кола чи кулі). Якщо тіло тиску фіктивне, то рівнодіюча тиску спрямована знизу нагору (рис.2.4). Якщо тіло тиску дійсне, то рівнодіюча тиску спрямована зверху вниз (рис.2.5).

Контрольні запитання:

1. Основні формули для розрахунку сумарного гідростатичного тиску на криволінійну циліндричну поверхню та їх складові.
2. Поняття тіла гідростатичного тиску.

Завдання до теми №2

Розв'язати задачі 2.1 – 2.6.

Задача № 2.1 (рис.2.6). Визначити величину і напрямок тиску на циліндричну поверхню, що утримує воду глибиною $h = r = 2$ м. Ширина циліндричної поверхні $b = 2$ м.

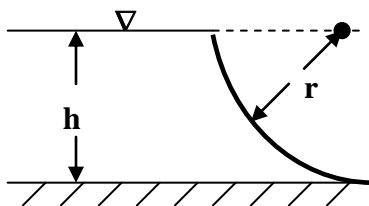


Рис.2.6 – Вид криволінійної поверхні до задачі 2.1

Задача № 2.2 (рис.2.7). Визначити величину і напрямок рівнодіючої тиску води на секторний затвор, якщо:
 $r = 2.3$ м; кут нахилу $\alpha = 30^\circ$, ширина b за варіантами.

Варіанти до задачі 2.2

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, b , м	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,2	4,8

Задача № 2.3 (рис.2.8). Визначити величину сумарного тиску води на циліндричний затвор шириною b , якщо:
 $H = 3$ м; $r = 2,5$ м, ширина b за варіантами.

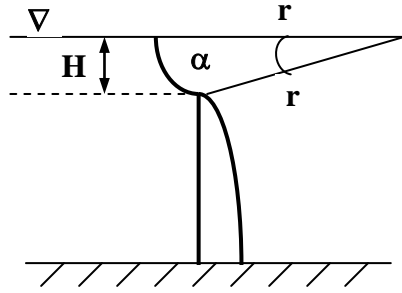


Рис.2.7 – Вид криволінійної поверхні до задачі 2.2

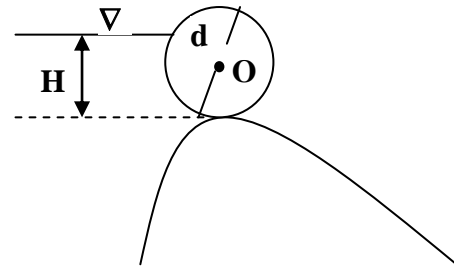


Рис.2.8 – Вид криволінійної поверхні до задачі 2.3

Варіанти до задачі 2.3

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, b , м	1,0	1,3	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0

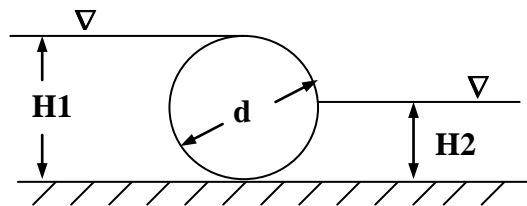


Рис.2.9 – Вид криволінійної поверхні до задачі 2.5

Задача № 2.4 (рис.2.9). Визначити величину і напрямок рівнодіючої двостороннього тиску води на циліндричну поверхню якщо: $d = 3$ м; $H_1 = d = 3$ м; $H_2 = d/2 = 1,5$ м, ширина b за варіантами .

Варіанти до задачі 2.4

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, b , м	2,0	2,5	3,0	3,6	3,8	4,0	4,2	4,5	5,0

Задача № 2.5 (рис.2.10). Унизу вертикальної стінки резервуара з водою шириною b знаходиться фасонна частина у виді чверті поверхні циліндра. Визначити тиск на цю частину, якщо: $r = 0,4$; $H = 1,2$ м, ширина b за варіантами.

Варіанти до задачі 2.5

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, b , м	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2

Задача № 2.6 (рис.2.11). Визначити величину і напрямок рівнодіючої тиску води на напівциліндричну поверхню шириною b , якщо: $d = 5$ м, ширина b за варіантами.

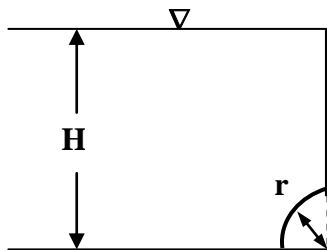


Рис.2.10 – Вид криволінійної поверхні до задачі 2.5

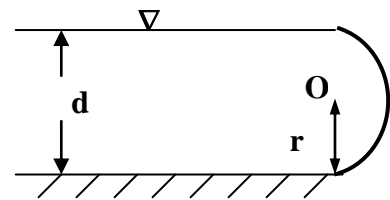


Рис.2.11 – Вид криволінійної поверхні до задачі 2.6

Варіанти до задачі 2.6

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, b , м	1,0	1,2	1,5	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5

ТЕМА № 3

РОЗРАХУНОК РУХУ РЕАЛЬНОЇ РІДИНИ В ТРУБОПРОВОДАХ З ВИКОРИСТАННЯМ РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ

Теоретичні положення

Основним рівнянням гідродинаміки є рівняння Бернуллі, що дає зв'язок між тиском P , швидкістю V і геометричною висотою Z у різних перерізах потоку рідини. Бернуллі отримав рівняння гідродинаміки для ідеальної і реальної рідин. Під ідеальною рідиною мається на увазі рідина, позбавлена сил в'язкості. Для потоку невязкої рідини рівняння Бернуллі для двох перерізів має вигляд:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}, \quad (3.1)$$

де Z_1, Z_2 – питома потенційна енергія положення (ординати яких-небудь точок у перетинах потоку 1-1 та 2-2 (рис.3.1), відлічувані від деякої горизонтальної площини порівняння 0-0); $\frac{P_1}{\gamma}$ та $\frac{P_2}{\gamma}$ – питома потенційна енергія тиску; (п'єзометричні висоти, віднесені до тих же точок 1-1 та 2-2, або п'єзометричний тиск); $\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}$ та $\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}$ – питома кінетична енергія потоку або швидкісний напір; V_1 та V_2 – середні швидкості потоку в перетинах 1-1 та 2-2; α – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу швидкостей по перетину потоку; $\alpha = 1,0 \dots 1,1$. Розмірність кожного члена рівняння Бернуллі – лінійна.

Для потоку реальної рідини рівняння Бернуллі для двох перерізів має вид:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \sum h_{re}, \quad (3.2)$$

де $\sum h_{re}$ – частина питомої енергії, затрачуваної на подолання різного роду опорів по шляху руху рідини, тобто втрати енергії на ділянці між розглянутими перерізами (утрати напору). Утрати напору (енергії) складаються з утрат напору по довжині h_e (розподіляються по всій довжині потоку рівномірно) і місцевих утрат h_r (спостерігаються тільки в окремих місцях потоку). Загальна формула для втрат при напірному русі

$$h_{re} = \xi \frac{V^2}{2g} \quad (3.3)$$

де ξ – коефіцієнт опору; V – середня швидкість у перерізі, розташованому нижче за течією рідини, де розглядаються втрати.

При ламінарному русі рідини втрати пропорційні першому ступеню швидкості. Коефіцієнт опору при розрахунку втрат по довжині визначається по формулі:

$$\xi_e = \lambda \frac{l}{d}, \quad (3.4)$$

де λ - коефіцієнт опору по довжині, коефіцієнт гідравлічного тертя; l - довжина розглянутої ділянки трубопроводу; d - діаметр трубопроводу. Коефіцієнт гідравлічного тертя λ залежить від шорсткості стінок русла і від числа Рейнольдса. Приблизно λ можна обчислити за формулою Дарсі:

$$\lambda = 0,02 \left(1 + \frac{1}{40d} \right), \quad (3.5)$$

Місцеві втрати зв'язані з подоланням усякого роду місцевих перешкод, що зустрічаються, як правило, в трубопроводах: повороту, звуження і розширення, не цілком відкриті крани і засувки і т.д. Для визначення місцевих утрат коефіцієнт опору місцевих утрат ξ береться головним чином по емпіричним даним у залежності від роду даного опору. Значення коефіцієнта ξ_r береться в довідниках з гідравліки [2].

При рішенні задач із застосуванням рівняння Бернуллі з урахуванням утрат необхідно користатися рівнянням нерозривності:

$$\omega_1 V_1 = \omega_2 V_2 = \dots \omega_n V_n = Q = \text{const}, \quad (3.6)$$

тобто при усталеному русі величина витрати рідини через будь-який поперечний переріз є величина постійна. Кожен член рівняння Бернуллі можна представити графічно, тобто побудувати діаграму рівняння.

Контрольні запитання:

1. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини для двох перерізів та його складові.
2. Загальна формула для втрат при напірному русі.
3. Рівняння нерозривності та його складові.

Завдання до теми №3

Розв'язати задачі 3.1 – 3.3.

Задача 3.1 (рис.3.3). Два басейни з'єднані трубою, по якій рухається вода з одного басейну в іншій. На трубі мається кран і два заокруглення. Визначити різницю рівнів води в басейнах (H), якщо дано: $Q = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$; швидкості в басейнах $V_1 = V_2$, кути заокруглення труби $\varphi = 90^\circ$; $l = 100 \text{ м}$; $d = 0,5 \text{ м}$; кут повороту крана $\alpha = 30^\circ$.

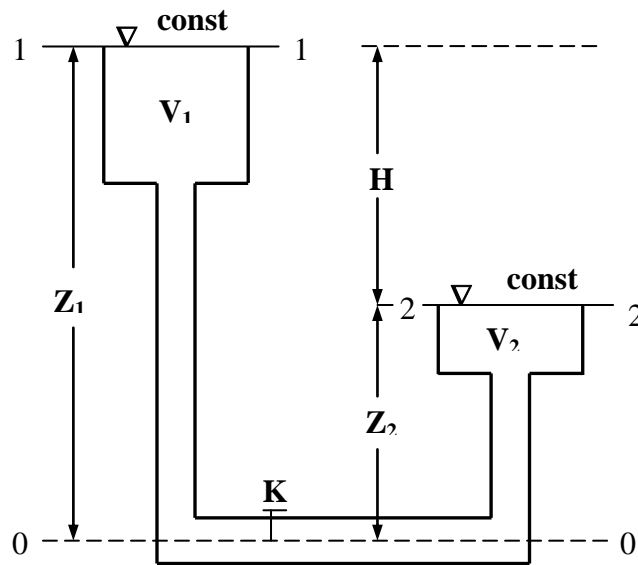


Рис.3.3 – Схема розміщення басейнів до задачі 3.1

Задача 3.2 (рис.3.4). З відкритого бака великих розмірів по горизонтальному трубопроводу, що складається з двох ділянок, витікає вода обсягом Q . $d_1 = 0,2$; $l_1 = 30$ м; $d_2 = 0,15$ м; $l_2 = 15$ м. Трубопровід закінчується насадкою $d_3 = 0,12$ м. На другій ділянці мається наполовину відкрита засувка. Визначити витрату Q з урахуванням утрат, якщо напір $H = 2,2$ м.

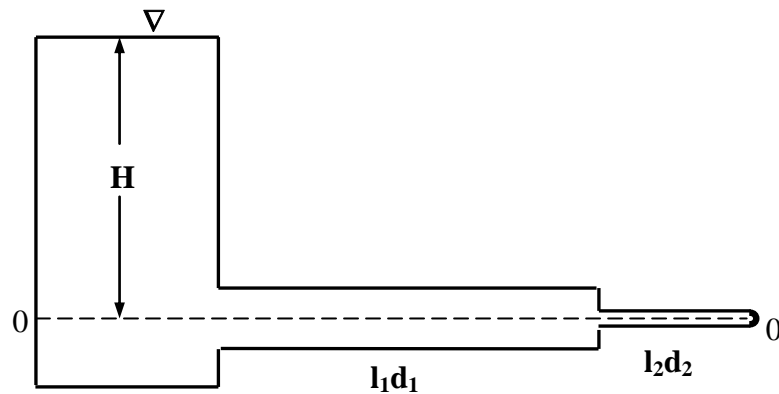


Рис.3.4 – Схема трубопроводу до задачі 3.2

Задача 3.3 (рис.3.5). Визначити витрату води Q у трубі при напорі $H = 9$ м; $d_1 = 0,1$ м; $l_1 = 20,6$ м; $l_2 = 15$ м; $l_3 = 9,4$ м; $d_2 = 0,2$ м. Труба на першій ділянці має два заокруглення в плані з центральним кутом $\varphi = 90^\circ$ та $\frac{d}{2R} = 0,2$ (R - радіус заокруглення).

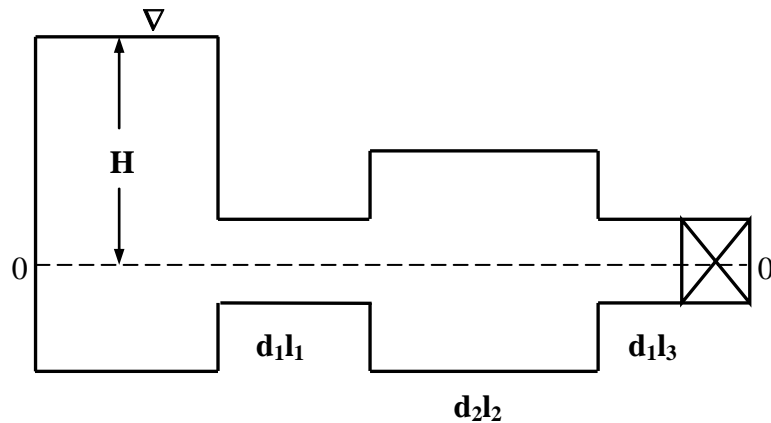


Рис.3.5 – Схема трубопроводу до задачі 3.3

ТЕМА № 4

ПОБУДОВА ГРАФІКА ЗАЛЕЖНОСТІ МОДУЛЯ ОПОРУ ВІД ВІДМІТКИ РІВНЯ ВОДИ В РІЧЦІ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІДРОМЕТРИЧНИХ ДАНИХ

Теоретичні положення

При побудові кривих вільної поверхні в природних водотоках користуються поняттям модуля опору

$$F = \frac{\Delta}{Q^2}, \quad (4.1)$$

де F - модуль опору;

Δ - падіння вільної поверхні, що дорівнює різниці відміток рівня води в початковому і кінцевому перерізах ділянки;

Q - витрата води.

Дослідження А.Н. Рахманова і Н.М. Бернадського показали, якщо на розрахунковій ділянці живі перетини одноманітні, а падіння вільної поверхні в природному і підпертому станах невеликі і мало відрізняються один від одного, модуль опору має властивість інваріантності. Це означає, що модуль опору F практично не залежить від ухилу вільної поверхні і є функцією тільки середньої відмітки Z рівня на ділянці, тобто

$$F = f(\bar{z}), \quad (4.2)$$

де

$$\bar{z} = \frac{1}{2}(Z_H + Z_K).$$

Побудову графіків функції $\mathbf{F} = \mathbf{f}(\bar{\mathbf{z}})$ для кожної ділянки водотоку можна виконати різними способами:

- 1) за допомогою використання гідрометричних даних;
- 2) за допомогою розрахунків.

У завданні розглядається спосіб побудови графіка функції $\mathbf{F} = \mathbf{f}(\bar{\mathbf{z}})$ з використанням гідрометричних даних спостережень. Такий спосіб може бути застосований при наявності ряду спостережених природних профілів потоку води в ріці, що відповідають різним витратам Q_1, Q_2, Q_3 і т.д. Для окремих ділянок ріки побудова графіка залежності $\mathbf{F} = \mathbf{f}(\bar{\mathbf{z}})$ виконується в такий спосіб.

1. Для кожного природного подовжнього профілю потоку обчислюють падіння вільної поверхні Δ :

$$\Delta = Z_{\text{Н}} - Z_{\text{К}}, \quad (4.3)$$

де $Z_{\text{Н}}, Z_{\text{К}}$ - відмітки рівня води відповідно в початковому і кінцевому перерізах ділянки.

У такий спосіб обчислюються значення $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots$, що відповідає витратам Q_1, Q_2, Q_3, \dots

2. Обчислюється модуль опору F по формулі (4.1):

$$F_1 = \frac{\Delta_1}{Q_1^2}; F_2 = \frac{\Delta_2}{Q_2^2}; F_3 = \frac{\Delta_3}{Q_3^2} \dots \text{і т.д.}$$

3. Для кожної витрати води обчислюються відмітки рівня води

$$\bar{Z} = \frac{1}{2}(Z_{\text{Н}} + Z_{\text{К}}), \text{ тобто } \bar{Z}_1, \bar{Z}_2, \bar{Z}_3 \dots \text{ і т.д.}$$

Усі розрахунки для кожної ділянки зводяться в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок модуля опору та середніх відміток.

№ п/п	Q м ³ /с	Q^2	$Z_{\text{П}}$ м	$Z_{\text{К}}$ м	Δ м	F	\bar{Z}
----------	--------------------------	-------	---------------------	---------------------	---------------	-----	-----------

На основі даних табл.4.1 будують графік залежності модуля опору F від середньої відмітки рівня води в ріці для даної ділянки. Для цього по осі

ординат відкладають значення середньої відмітки \bar{Z} , а по осі абсцис - відповідні значення модуля опору F (рис.4.1).

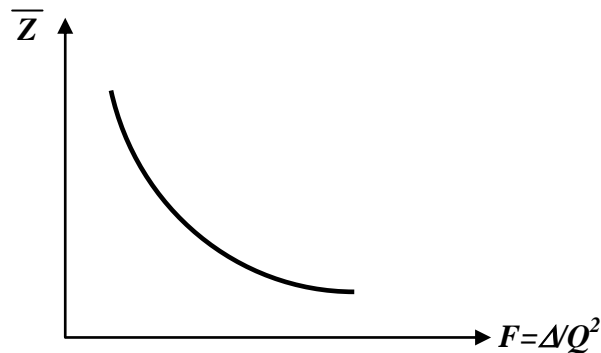


Рис.4.1 – Вид графіка модуля опору від середньої відмітки.

Через малі значення модуля опору F зручніше відкладати по осі абсцис не величину F , а FN , де N можна брати, наприклад, рівним 10^5 , 10^6 , 10^7 , 10^8 і т.д. в залежності від отриманих числових значень F .

Контрольні запитання:

1. Поняття модуля опору.
2. Властивість інваріантності модуля опору.

Завдання до теми №4

Побудувати графік залежності модуля опору від відмітки рівня води в річці за допомогою гідрометричних даних.

Варіант I

Досліджуваний відрізок ріки довжиною 19 км розбитий на ділянки п'ятьма перерізами. Ділянка I довжиною 1950 м, II – 2240, III – 5900, IV – 8900 м.

Відмітки рівня води в п'ятих перерізах при різних витратах приведені в табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Відмітки рівня води в різних перерізах

Q м ³ /с	Відмітки рівня води по перерізах, м				
	I	II	III	IV	V
2000	4,80	4,16	3,60	3,49	2,90
2500	5,55	4,67	4,15	3,76	3,35
3000	6,28	5,23	4,52	4,30	3,82
3500	6,82	5,70	4,90	4,70	4,13
4000	7,28	6,20	5,30	5,10	4,40

Варіант II

Досліджуваний відрізок ріки довжиною 5 км розбитий на чотири ділянки, з одноманітними ухилами вільної поверхні. Ділянка I довжиною 1000 м, II – 1250м, III – 1450м, IV – 1300 м.

Відмітки рівня води в п'ятих перерізах при різних витратах приведені в табл.4.3.

Таблиця 4.3 – Відмітки рівня води в різних перерізах

Q м ³ /с	Відмітки рівня води по перерізах, м				
	I	II	III	IV	V
1000	16,20	16,10	15,70	15,40	15,25
1200	16,70	16,58	16,14	15,81	15,63
1400	16,90	16,76	16,29	15,91	15,70
1600	17,40	17,23	16,71	16,30	16,05

Варіант III

Досліджуваний відрізок ріки довжиною 13 км розбитий чотирма перерізами на три ділянки з одноманітними ухилами вільної поверхні. Довжина ділянок, м: I – 1000, II – 1250, III – 1450, IV – 1300 м.

Відмітки рівня води в перерізах при різних витратах наведені в табл.4.4.

Таблиця 4.4– Відмітки рівня води в різних перерізах

Q м ³ /с	Відмітки рівня води по перерізах, м			
	I	II	III	IV
1000	42,25	40,80	38,63	37,52
2000	44,55	42,35	40,30	39,00
3000	45,25	43,10	41,20	40,00
3500	45,58	43,35	41,50	40,70
4000	46,00	43,55	41,80	41,00

Варіант IV

Досліджуваний відрізок ріки довжиною 12 км розбитий чотирма перерізами на три ділянки довжиною: I – 6440, II – 3500, III – 2060 м. Відмітки рівня води в перерізах при різних витратах приведені в табл.4.5.

Таблиця 4.5 – Відмітки рівня води в різних перерізах

Q м ³ /с	Відмітки рівня води по перерізах, м			
	I	II	III	IV
2000	4,75	4,50	4,10	3,55
2250	5,10	4,80	4,35	3,75
2500	5,45	5,20	4,65	4,00
3000	6,15	5,80	5,20	4,50
3500	6,75	6,35	5,70	5,00
4000	7,25	6,85	6,15	5,35

ТЕМА № 5

ПОБУДОВА КРИВИХ ВІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ У ПРИРОДНИХ ВОДОТОКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ СПОСОБУ А.М.РАХМАНОВА

Теоретичні положення

У способі А.М.Рахманова водотік попередньо розбивають на ділянки. Для кожної ділянки водотоку повинні бути побудовані графіки залежності модуля опору від відмітки рівня води в ріці і задані розрахункова витрата Q і відмітка поверхні води Z_K при нерівномірному русі в кінцевому створі останньої ділянки.

Розрахунок кривої вільної поверхні починається від останньої ділянки водотоку, у наступному порядку:

1. Довільно призначається середня відмітка \bar{Z}_1 поверхні води в межах розглянутої ділянки водотоку.

2. За графіком залежності модуля опору від відмітки рівня води в ріці визначають модуль опору F_I відповідно до призначеної середньої відмітки \bar{Z}_1 .

3. Визначають падіння Δ рівня вільної поверхні водотоку в межах розглянутої ділянки:

$$\Delta = FQ^2, \quad (5.1)$$

де F – модуль опору, знятий із графіка залежності $F = f(\bar{z})$;

Q – розрахункова витрата.

4. Обчислюють середню відмітку \bar{Z} поверхні води на ділянці:

$$\bar{Z} = Z_K + \frac{\Delta}{2}, \quad (5.2)$$

де Z_K – відома відмітка поверхні води в кінцевому створі.

5. Порівнюють довільно призначену \bar{Z}_1 і обчислену \bar{Z} середні відмітки. Якщо розраховане значення середньої відмітки \bar{Z} відрізняється від призначеного довільного значення \bar{Z}_1 менше ніж на 5%, можна вважати, що середня відмітка \bar{Z} визначена правильно. У протилежному випадку виконують перерахування, у процесі якого знаходять значення \bar{Z} , що мало відрізняється від призначеного нового значення \bar{Z}_n . Таке значення середньої відмітки приймається за остаточне.

6. Обчислюють відмітку поверхні води Z_H у початковому створі розглянутої ділянки водотоку:

$$Z_H = \bar{Z} + \frac{\Delta}{2}, \quad (5.3)$$

де \bar{Z} – середня відмітка, отримана в результаті викладеного методу розрахунку;

Δ – падіння рівня вільної поверхні, обчислене по формулі (5.1).

7. На цьому закінчують розрахунок розглянутої ділянки водотоку. Подібним чином роблять розрахунки для наступного, розташованого вище за течією ділянки водотоку, причому за кінцеву відмітку приймають відмітку, отриману для початкового створу розглянутої ділянки: $Z_{K,NI} = Z_{HN}$. Таким чином, переходячи від однієї ділянки до іншої, визначають відмітки вільної поверхні у всіх створах і по цим даним будують шукану криву вільної поверхні.

Контрольні запитання:

1. Від якої ділянки водотоку починається розрахунок кривої вільної поверхні?

2. Які вихідні дані необхідні для розрахунку кривої вільної поверхні?

Завдання до теми №5

Побудувати по способу А.М.Рахманова криву вільної поверхні ріки від пункту *A* до пункту *B* при наступних вихідних даних.

Ріка від пункту *A* до пункту *B* розбита на три ділянки довжиною, м: I – 1350, II – 1550, III – 1700. Для кожної ділянки на рис.5.1-5.3 зображені графіки залежності модуля опору від середньої відмітки.

Різні варіанти значень розрахункової витрати Q і відмітки в кінцевому створі (у пункті *B*) приведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 - Значення розрахункових витрат по варіантам

Номер варіанта	Розрахункова витрата Q , м ³ /с	Кінцева відмітка в пункті <i>B</i> , Z_K , м
1	800	25,40
2	1000	26,10
3	1100	26,50
4	1200	26,90
5	1250	27,00
6	1300	27,20
7	1400	27,60
8	1450	27,70

ТЕМА № 6

ПОБУДОВА КРИВИХ ВІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ У ПРИРОДНИХ ВОДОТОКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІЧНОГО СПОСОБУ М.І.ПАВЛОВСЬКОГО

У даному способі передбачається, що водотік розбитий на ряд ділянок. Для кожної ділянки водотоку побудовані графіки залежності модуля опору від середньої відмітки рівня води в ріці. Повинні бути відомі розрахункова витрата Q і відмітка Z_K поверхні води в крайньому створі останньої ділянки водотоку. Графічні побудови і розрахунки для кожної ділянки водотоку по даному методу виконуються в наступному порядку.

1. Обчислюється тангенс кута γ :

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{2a}{Q^2_{BN}}, \quad (6.1)$$

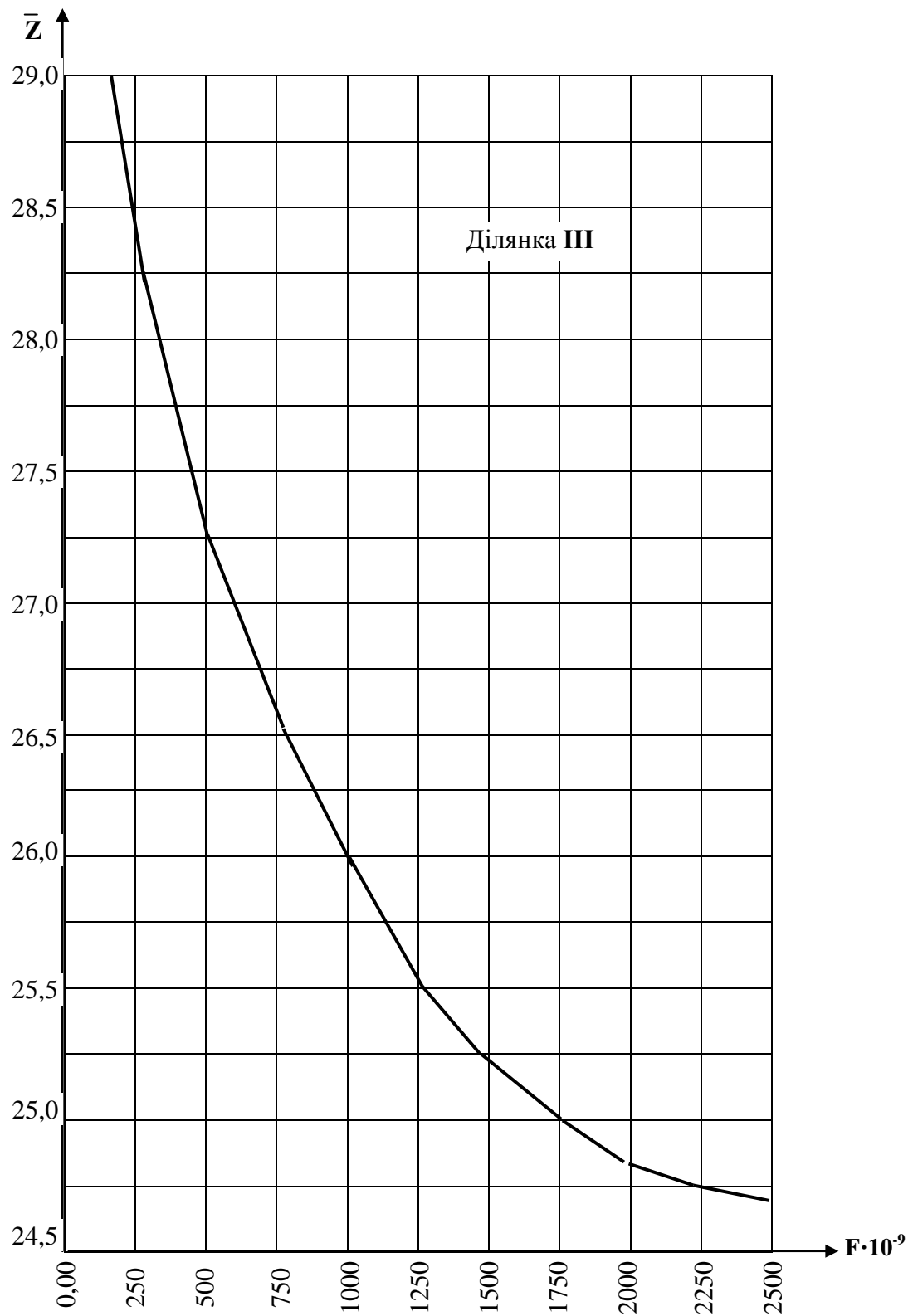


Рис.5.1 – Графік залежності $\mathbf{F = f(\bar{z})}$ для III ділянки

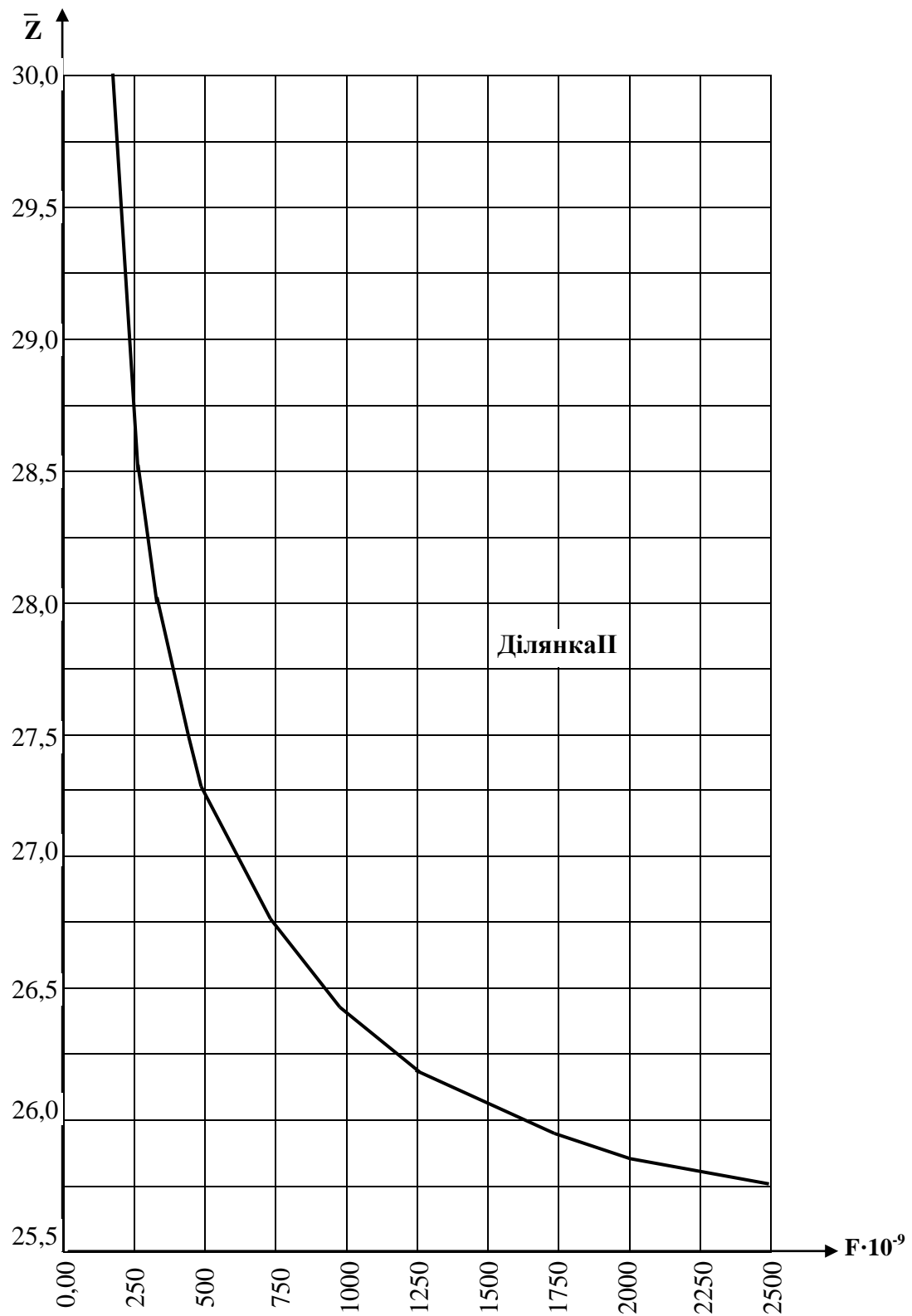


Рис.5.2 - Графік залежності $\mathbf{F} = \mathbf{f}(\bar{\mathbf{z}})$ для II ділянки

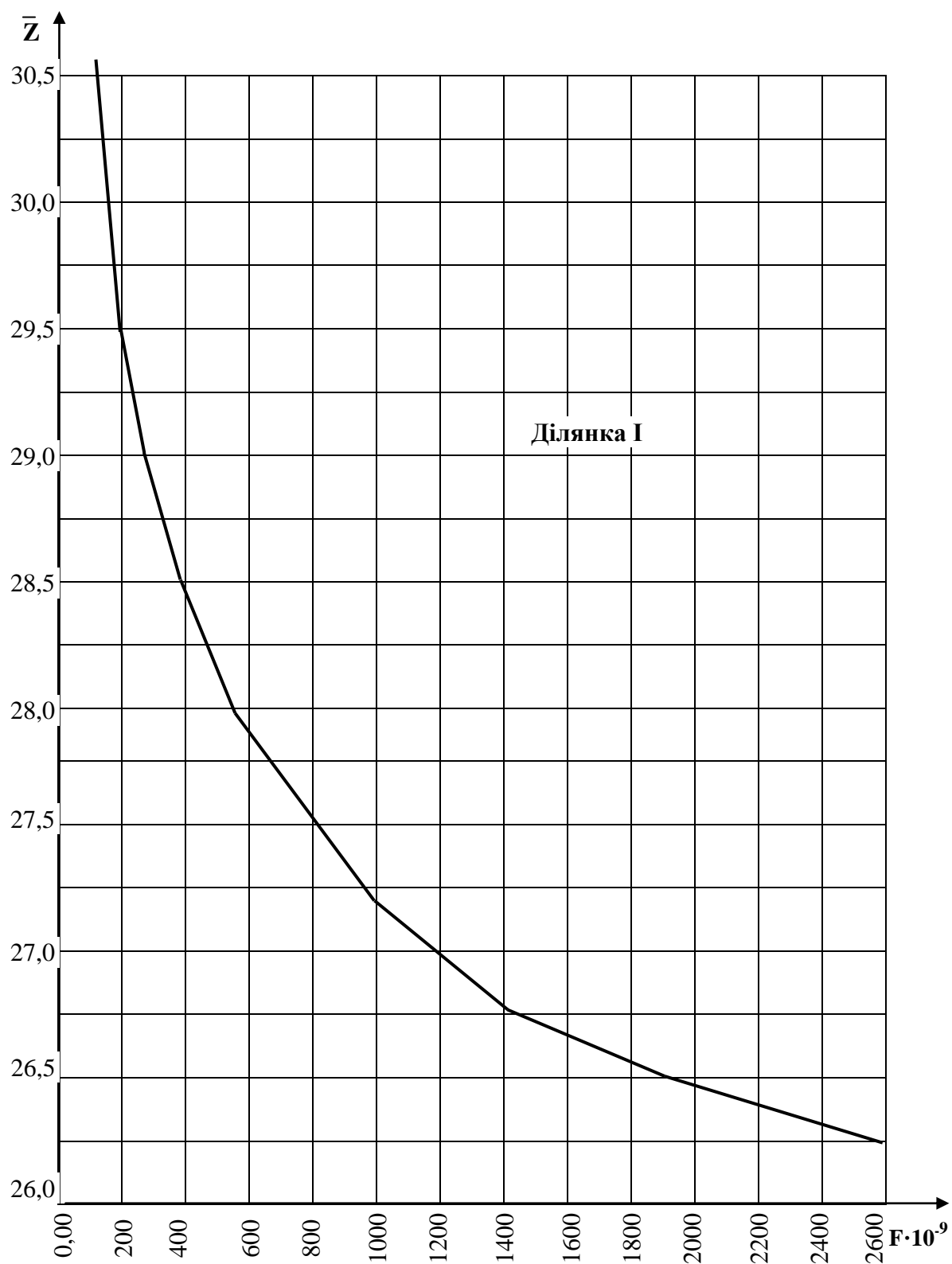


Рис.5.3 - Графік залежності $\mathbf{F = f(\bar{z})}$ для I ділянки

де Q – розрахункова витрата;

a – прийнятий масштаб для відмітки \bar{Z} (у 1 см - a м);

v – прийнятий масштаб для функції FN (у 1 см - v с²/м⁵).

За значенням тангенса визначається кут γ .

2. На осі ординат графіка модулю опору для крайньої ділянки відкладають відмітку Z_K (рис. 6.1).

3. Отриманої в результаті цього точки O на осі ординат проводять пряму, що утворить з віссю ординат кут γ , до перетинання її з кривою модуля опору.

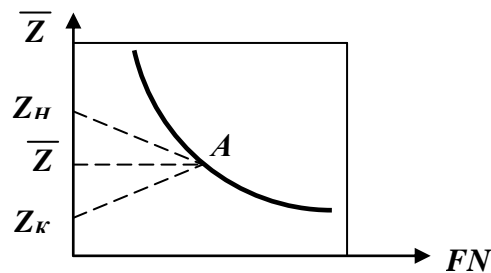


Рис.6.1 – Графічна побудова способом Павловського

3. Визначають ординату отриманої точки \bar{Z} , і значення Δ :

$$\Delta = 2(\bar{Z} - Z_K). \quad (6.2)$$

4. Обчислюють відмітку поверхні води в початковому створі:

$$Z_H = Z_K + \Delta. \quad (6.3)$$

5. Приймаючи за кінцеву відмітку в наступній ділянці, яка знаходиться вище за течією, отриману початкову відмітку для останньої ділянки, роблять визначення початкової відмітки у викладеному порядку.

Аналогічні розрахунки роблять для всіх ділянок водотоку.

Контрольні запитання:

1. Від якої ділянки водотоку починається розрахунок кривої вільної поверхні?
2. Які вихідні дані необхідні для розрахунку кривої вільної поверхні?

Завдання до теми №6

Побудувати за допомогою графічного способу М.І.Павловського криву вільної поверхні ріки від пункту *A* до пункту *B*. Для побудови кривих вільної поверхні в природних водотоках по способу М.І.Павловського вихідні дані необхідно взяти із завдання 5, варіанти в завданнях 5 та 6 мають співпадати.

ТЕМА № 7

ПОБУДОВА КРИВИХ ВІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ У ПРИРОДНИХ ВОДОТОКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ СПОСОБУ Н.М.БЕРНАДСЬКОГО

Теоретичні положення

Спосіб Н.М.Бернадського заснований на використанні опорних кривих для кожного розглянутої ділянки. Ці криві можна побудувати двома прийомами:

- 1) за допомогою графіка функції, зворотної модулю опору;
- 2) за допомогою кривих зв'язку $Q = f(z)$.

У даному завданні використовується перший спосіб побудови.

Побудова опорної кривої по способу Н.М.Бернадського

1. Будують графік залежності $\frac{1}{F} = \frac{Q^2}{\Delta}$ зворотної функції модуля опору від середньої оцінки рівня води в ріці. Для цього по осі ординат відкладають значення середньої відмітки \bar{Z} , а по осі абсцис - відповідні значення $\frac{Q^2}{\Delta}$ (рис.7.1).

Розрахунки для побудови графіка зводять у табл.7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок зворотної функції модуля опору

№ п/п	Q м ³ /с	Q^2	Z_H м	Z_K м	\bar{Z}_K м	Δ м	$\frac{Q^2}{\Delta} N$
----------	--------------------------	-------	------------	------------	------------------	---------------	------------------------

2. Площу, обмежену побудованою кривою і віссю ординат, розділяють горизонтальними лініями на ряд елементарних смужок I, II, III і т.д., причому вертикальний розмір цих елементарних смужок δ приймається досить малим (0,10 - 0,30 м).

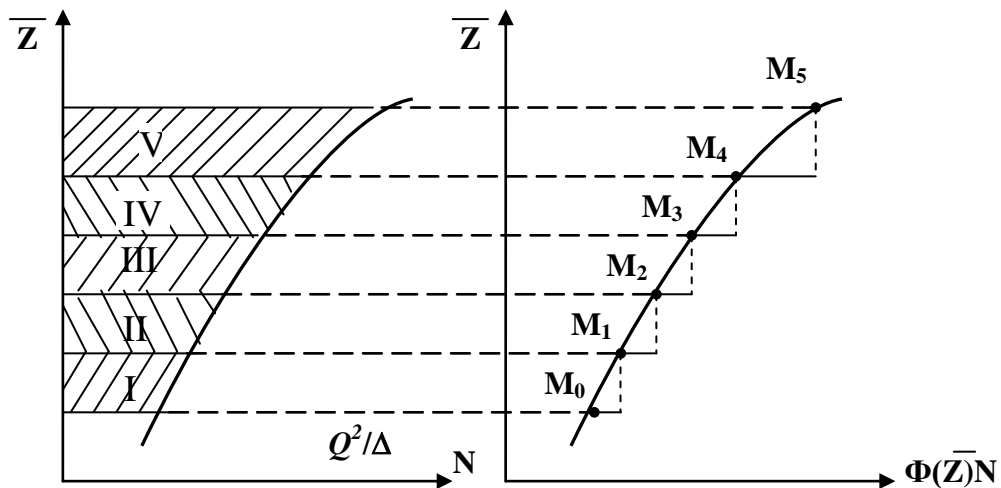


Рис.7.1 – Побудова опорної кривої

3. Підраховуються площі елементарних смужок I, II, III і т.д. з обліком вертикального і горизонтального масштабів графіка.

4. Вибравши визначений горизонтальний масштаб для осі абсцис графіка опорної кривої, визначають положення точок M_1 , M_2 і т.д. Для цього на першій лінії від початкової точки M_0 , положення якої стосовно вертикальної осі береться довільно, відкладають в обраному масштабі площу першої елементарної смужки. Через кінець отриманого відрізка проводять вертикаль до перетинання з другою лінією й одержують точку M_1 . Від точки M_1 , відкладають вправо по горизонталі площу другої елементарної смужки і визначають положення точки M_2 і т.д. З'єднуючи плавною кривою точки M_1 , M_2 , M_3 і т.д., одержують опорну криву.

Побудова кривої вільної поверхні по способу Н.М.Бернадського

Для побудови кривої вільної поверхні в природному водотоці при заданій витраті Q і кінцевій відмітці Z_K в останній ділянці роблять наступне:

1. Будують опорні криві для кожної ділянки водотоку розглянутим способом.

2. Відому кінцеву відмітку Z_K відкладають на осі ординат опорної кривої для останньої ділянки (рис. 7.2). Через отриману точку проводять горизонтальну пряму до зустрічі з опорною кривою (точка a).

3. Від точки a в напрямку, рівнобіжному осі абсцис, відкладають у прийнятому масштабі для $\Phi(\bar{z})$ відрізок $a - a'$, рівний Q^2 (на кресленні величина показана жирною лінією).

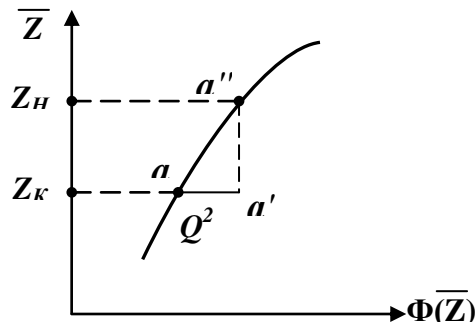


Рис.7.2 – Схема знаходження початкової відмітки на опорній кривій.

4. Через точку a' проводять лінію, рівнобіжну осі ординат, до зустрічі її з опорною кривою в точці a'' . Ордината точки a'' дорівнює відмітці поверхні води на початку ділянки Z_H . Аналогічні побудови роблять на опорних кривих для всіх ділянок водотоку. При цьому відмітка рівня води в початковому створі попередньої ділянки приймається за кінцеву відмітку ділянки, яка лежить вище за течією.

Контрольні запитання:

1. Від якої ділянки водотоку починається розрахунок кривої вільної поверхні?
2. Які вихідні дані необхідні для розрахунку кривої вільної поверхні?

Завдання до теми №7

Ріка від пункту A до пункту B розбита на ділянки.

Побудувати криву вільної поверхні між пунктами A и B способом Н.М.Бернадського при наступних умовах, якщо відомі:

гідрометричні дані відміток рівня води в перетинах при різних витратах води;

довжина кожної ділянки;

значення розрахункової витрати Q і кінцевої відмітки Z_K рівня води в створі B в останній ділянці для різних варіантів.

Після виконання завдання студент повинен представити:

1. Пояснювальну записку.
2. Заповнену табл.7.1 для кожної ділянки.
3. Графіки залежності $\frac{Q^2}{\Delta} = f(\bar{z})$ и $\Phi = f(\bar{z})$ для кожної ділянки.

4. Криву вільної поверхні, побудовану по відміткам, обчисленим способом Н.М.Бернадського.

Варіант I

Таблиця 7.2 - Відмітки рівня води в різних перетинах

№ п/п	Q $\text{м}^3/\text{с}$	Відмітки рівня води по створах, м				
		I	II	III	IV	V
1	2000	4,10	3,55	3,40	2,85	2,50
2	2500	4,65	4,00	3,80	3,25	2,75
3	3000	5,20	4,50	4,30	3,65	3,00
4	3500	5,70	5,00	4,75	4,00	3,30
5	4000	6,15	5,35	5,10	4,35	3,50
6	4500	6,50	5,65	5,40	4,70	3,70

Таблиця 7.3 - Значення розрахункових витрат по варіантам

Номер варіан- та	Розрахун- кова витрата Q , $\text{м}^3/\text{с}$	Кінцева відмітка в пункті B, Z_K , м
1	2000	4,00
2	1800	3,75
3	1600	3,50
4	1300	3,00
5	2500	4,25

Таблиця 7.4 -
Довжини ділянок

Номер ділян- ки	Довжина ділянки, м
I	1950
II	2240
III	3900
IV	3990

Варіант II

Таблиця 7.5 - Відмітки рівня води в різних перетинах

№ n/n	Q $\text{м}^3/\text{с}$	Відмітки рівня води по створах, м			
		I	II	III	IV
1	700	38,46	37,66	36,75	35,70
2	1000	38,85	38,10	37,23	36,25
3	1500	39,67	39,20	37,80	37,30
4	1800	40,04	29,44	38,71	37,90

Таблиця 7.6 - Значення розрахункових витрат по варіантам

Номер варіанта	Розрахункова витрата Q , м ³ /с	Кінцева відмітка в пункті B, Z_K , м
1	1250	37,0
2	1400	37,5
3	1600	38,0

Таблиця 7.7 - Довжини ділянок

Номер ділянки	Довжина ділянки, м
I	5000
II	4600
III	3400

ТЕМА № 8

ПОБУДОВА КРИВИХ ВІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ У ВИПАДКУ РОЗДВОЄННЯ (БІФУРКАЦІЇ) РУСЛА

Теоретичні положення

Розглядається найпростіший випадок розподілу ріки на два рукава (рис. 8.1).

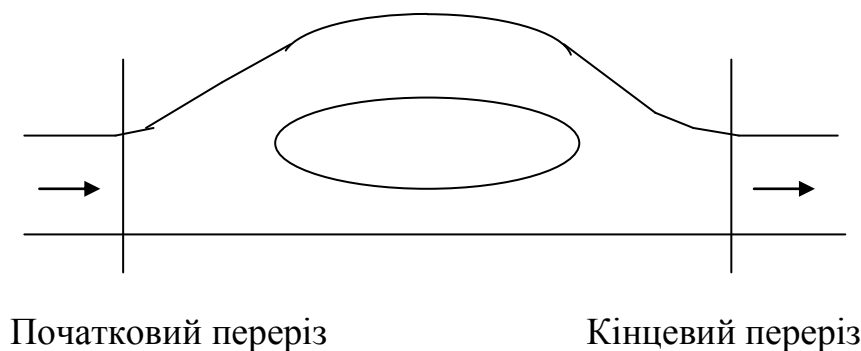


Рис.8.1 – Розподіл ріки на два рукава

Усі гідравлічні елементи, що відносяться до одного й іншого рукавам, будемо відповідно позначати індексами a і b . Повна витрата ріки дорівнює сумі витрат правого і лівого рукавів:

$$Q = Q_a + Q_b. \quad (8.1)$$

Загальне падіння на ділянці дорівнює різниці відміток водної поверхні між початковим і кінцевим створами:

$$\Delta Z = Z_H - Z_K. \quad (8.2)$$

Скористаємося третьою спрощеною формою розрахункової залежності:

$$\Delta Z = Q^2 \frac{l}{K^2}. \quad (8.3)$$

Для нашого випадку

$$\Delta Z_a = \frac{Q_a^2 \cdot l_a}{K_a^2}; \quad (8.4)$$

$$\Delta Z_b = \frac{Q_b^2 \cdot l_b}{K_b^2},$$

де l_a і l_b – довжини по осі правого і лівого рукавів від початкового до кінцевого створу відповідно;

K_a і K_b – модулі витрати рукавів відповідно.

З вираження (8.4) випливає, що

$$Q_a = K_a \sqrt{\frac{\Delta Z_a}{l_a}}; \quad Q_b = K_b \sqrt{\frac{\Delta Z_b}{l_b}}. \quad (8.5)$$

З огляду на вираження (8.5) і думаючи $\Delta Z_a = \Delta Z_b$, приводимо рівняння (8.1) після ряду перетворень до наступного виду:

$$Q = \left(K_a + K_b \sqrt{\frac{l_a}{l_b}} \right) \cdot \sqrt{\frac{\Delta Z}{l_a}}. \quad (8.6)$$

Рівняння (8.6) можна переписати

$$\Delta Z = \frac{Q^2 \cdot l_a}{\bar{K}^2}, \quad (8.7)$$

де

$$\overline{K} = K_a + K_b \sqrt{\frac{l_a}{l_b}}.$$

Обчисливши по формулі (8.7) падіння рівня води ΔZ , можна вирішити й іншу задачу: знайти розподіл витрат між рукавами. З цією метою значення ΔZ підставляють у рівняння (8.5).

Використовуючи рівняння (8.4), можна побудувати криві вільної поверхні, змінюючи тільки значення l_a і l_b у межах довжини рукавів.

Контрольні запитання:

1. Як призначаються початковий і кінцевий переріз у випадку роздвоєння русла?
2. Які гідравлічні характеристики використовуються для розрахунку кривої вільної поверхні у випадку роздвоєння русла?

Завдання до теми №8

Ріка поділяється на два рукава; довжина першого $l_a = 2500$ м, довжина другого $l_b = 6000$ м.

При меженій витраті $Q = 400$ м³/з рівень на водомірному пості, розташованому на місці злиття рукавів, $Z_K = 1,00$ м, середні глибини першого і другого рукавів відповідно $h_a = 4,0$ м і $h_b = 2,2$ м, ширина $B_a = 150$ м, $B_b = 80$ м, шорсткість n обох рукавів може бути прийнята однаковою і рівною 0,028.

Порядок виконання завдання №8:

1. На основі геометричних характеристик русел рукавів розрахуємо площі поперечного перерізу рукавів, гідравлічні радіуси рукавів, змочені периметри рукавів, модуль витрати рукавів.
2. За формулами 8.7 визначити середній модуль витрати рукавів та падіння рівня води ΔZ в кожному з рукавів.
3. Обчислити витрати рукавів за формулами 8.5. Провести перевірку розподілу витрати між рукавами за умовою 8.1.
4. Обчислити падіння відміток рівня води ΔZ у кожному з рукавів за формулами 8.4, приймаючи довжини l_a і l_b змінними по довжині рукава та відмітки рівня води у кожному з рукавів, використовуючи вираз $Z_H = Z_K + \Delta Z$.
5. Побудувати криві вільної поверхні в рукавах *a* та *б*.

ТЕМА № 9

МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ВОДОЙМИ

Теоретичні положення

9.1 Морфометричні показники поверхні водойми

Довжина водойми (L) – найкоротша відстань між двома найбільш віддаленими одна від одної точками берегової лінії, виміряна по його поверхні. Як видно з рис. 9.1, довжина може зображуватися на плані водойми прямою або ламаною лінією, яка ніде не перетинає берегів водойми. *Ширина водойми B* ; середня ширина ($B_{сер}$) – частка від ділення площі дзеркала (f_0) на довжину водойми (L), тобто $B_{сер} = \frac{f_0}{L}$, максимальна ширина – B_{max} – найбільша відстань між берегами по перпендикуляру до довжини водойми. У ряді випадків (наприклад, для потреб судноплавства) визначається ширина озера на найбільш вузьких ділянках.

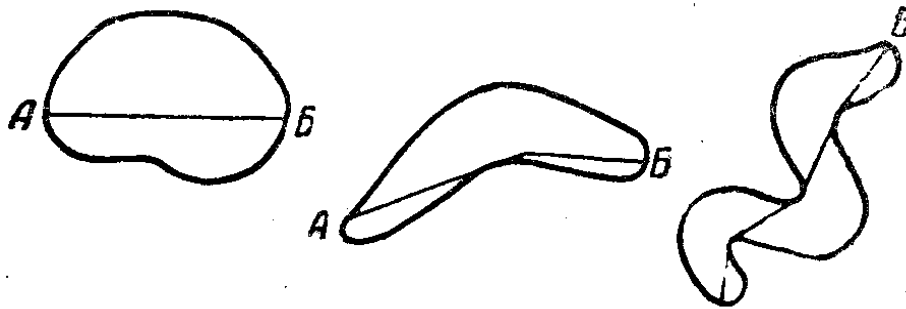


Рис. 9.1 – Визначення довжини водойми (за С. Д. Муравейським).
(А – Б) – довжина водойми.

Довжина берегової лінії (l) вимірюється по нульовій ізобаті.

Розвиток берегової лінії характеризується відношенням довжини берегової лінії озера (l) до довжини кола, що має площу, яка дорівнює площі дзеркала озера:

$$K = \frac{l}{2\pi R};$$

тому що

$$R = \sqrt{\frac{f_0}{\pi}}, \text{ то}$$

$$K = \frac{l}{2\sqrt{f_0\pi}}. \quad (9.1)$$

Площа поверхні (дзеркала) озера (f_0) і площі, обмежені ізобатами (f_1, f_2, \dots, f_n). Для ряду розрахунків (визначення обсягів окремих шарів озера, залежності між площею його дзеркала і рівнем тощо) необхідно знати не тільки площу поверхні водойми, а й площі, обмежені ізобатами. Останні характеризують розміри дзеркала озера при змінах його рівня, тому їх доцільно віднести до морфометричних характеристик поверхні водойми.

Планіметрування є найбільш точним способом визначення площі дзеркала водойми і площ, обмежених ізобатами. Наближене визначення площ може бути виконано за допомогою палетки.

Площа дзеркала озера, що має острови, визначається як різниця між загальною площею водойми і сумарною площею островів. Для таких озер визначається *острівність* (I):

$$I = \frac{\sum f'}{f} \cdot 100\% \text{ або } I = \frac{f - f_0}{f} \cdot 100\%, \quad (9.2)$$

де $\sum f'$ – сумарна площа островів; f – загальна площа озера; f_0 – площа дзеркала озера.

9.2 Морфометричні показники об'єму, глибин і дна

В озеровидних водоймах визначається *максимальна* (H_{max}) і *середня* ($H_{сер}$) *глибини*. Перша знаходиться за даними промірів. Друга дорівнює частці від ділення об'єму озера (V) на площу його дзеркала (f_0):

$$H_{сер} = \frac{V}{f_0}. \quad (9.3)$$

Об'єм озера визначається як для всієї улоговини, так і для водної маси, що заповнює деяку частину її при даному рівні. Обчислення об'єму проводиться графічно по батіграфічній або гіпсографічній кривих або аналітично за допомогою параболічної формули або формули зрізаного конуса.

Для характеристики улоговин зі складним рельєфом необхідно враховувати обсяги западин (v_e) і підвищень (v_n) дна. У цьому випадку загальний об'єм улоговини буде:

$$V = v_{0-2} + \sum v_e + \sum v_n, \quad (9.4)$$

де v_{0-2} – об'єм шару від нульової ізобати до ізобати, що обмежує западини і підйоми дна (ізобати другого порядку).

При гідрологічних, гідрохімічних та біологічних дослідженнях часто буває необхідно характеризувати режим глибинної частини водоймища; для цієї мети визначаються обсяги водної маси, розташованої під тією чи іншою ізобатою.

Основними морфометричних показниками дна водоймища є ухил і площа (дійсна поверхню дна).

Середній уклон дна визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h \sum l}{f_0}, \quad (9.5)$$

де α – середній кут нахилу дна, $\sum l$ – сума довжин ізобати. Справжня поверхня дна (f_d) визначається за формулою:

$$f_d = \frac{f_0}{\cos \alpha}, \quad (9.6)$$

9.3 Батіграфічна (гіпсографічна) і об'ємна криві

Існують певні залежності між рівнем (або глибиною) озера (H), площею його дзеркала (f_0) і між рівнем та об'ємом водної маси (V). Ці залежності дозволяють визначати за даними водомірних спостережень площу і об'єм озера. Зв'язки $f_0 = f(H)$ і $V = f(H)$ мають для кожної озеровидної водойми свій характер і можуть бути виражені графічно у вигляді батіграфічної (гіпсографічної) та об'ємної кривих.

Батіграфічна крива відображає залежність між глибинами і площами, оконтуреними ізобатами на відповідних глибинах; гіпсографічна крива – та ж крива, але з відмітками ізобат (рівнів) замість глибин. Для побудови цих кривих на вертикальній осі будується шкала глибин (або рівнів), на горизонтальній – шкала площ, оконтурених ізобатами, кожна з цих площ (f_0, f_1, \dots, f_n) відкладається на горизонтальній лінії відповідної глибини (рис. 8.2). Позначені точки з'єднуються плавною кривою. У точці найбільшої глибини крива перетинає вісь глибин ($f=0$). Якщо на позначці максимальної глибини розташовується рівна ділянка, то її площа показується горизонтальним відрізком кривої на лінії найбільшої глибини.

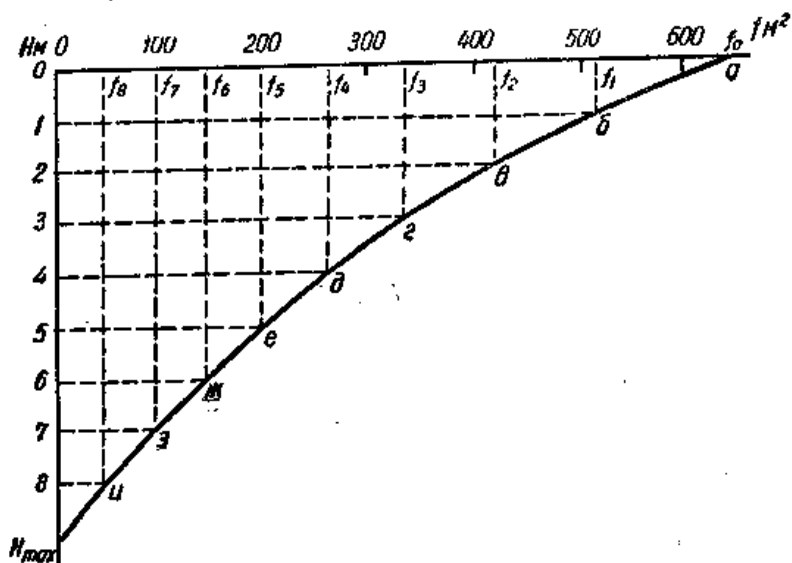


Рис. 9.2 – Батіграфічна крива озера

За допомогою батіграфічної або гіпсографічної кривої можна графічно визначити об'єм всієї водної маси озера та об'єми окремих шарів при різних рівнях. Об'єм водної маси визначається планіметруванням площі між осями координат і кривою (площа фігури oaH_{max} на рис. 9.2) і множенням її на значення одиниці площі в масштабі креслення. Об'єми шарів визначаються аналогічно по площах, відповідним їм на кресленні (площі $oab1$, $1бв2$ і т. д. – на рис. 9. 2). Вказаний спосіб визначення об'ємів є найбільш точним.

Об'ємна крива (рис. 9.3) відображає залежність між об'ємом водної маси озера та його рівнем (глибиною). Для її побудови по вертикалі (так само як і при побудові батіграфічної кривої) відкладаються глибини (рівні), по горизонталі – об'єми води, укладені під відповідними ізобатами: на лінії нульової глибини (відмітки дзеркала) – об'єм всієї водної маси (V), на лінії глибини 1 м – той же об'єм, за вирахуванням об'єму першого метрового шару (v_{0-1}) – $(V-v_{0-1})$, на лінії глибини 2 м – відповідно – $(V-v_{0-2})$ і т.д. Визначені точки (А, Б, В, Г, Д) з'єднуються плавною кривою. У точці найбільшої глибини об'ємна крива завжди перетинає вісь глибин ($V = 0$).

Батіграфічна і об'ємна криві, як правило, будуються на одному аркуші і мають загальну вертикальну шкалу. Велике значення мають ці криві при проектуванні та експлуатації водосховищ. Для розрахунку кількості тепла, кисню та інших елементів у воді озера зручно користуватися об'ємною шкалою, яка будується за об'ємною кривою.

Побудова шкали ведеться шляхом проектування об'ємів V , $(V-v_{0-1})$, $(V-v_{0-2})$ і т.д. на горизонтальну пряму, розташовану на аркуші нижче об'ємної кривої (рис. 8.3). Поряд зі значеннями об'ємів виписуються

глибини (відмітки ізобати), під якими розташовані ці об'єми. Якщо об'ємну шкалу розташувати вертикально, а по горизонталі відкласти кількість тепла, кисню або інших елементів в одиниці об'єму на різних глибинах і отримані точки з'єднати плавною кривою, то, визначивши площу між осями координат і кривою, отримаємо запас даного елемента у водній масі озера. Аналогічно можна розрахувати його кількість в окремих шарах, планіметрируючи відповідні цим шарам площі.

Контрольні запитання:

1. Назвати і дати визначення морфометричних показників поверхні водойми.
2. Назвати і дати визначення морфометричних показників об'єму, глибин і дна.
3. Як будуються і використовуються батиграфічна (гіпсографічна) і об'ємна криві?

Завдання до теми №9

Виміряти та обчислити морфометричні показники поверхні водойми, морфометричні показники об'єму, глибин і дна, побудувати батиграфічну і (гіпсографічну) і об'ємну криві Видубицького озера, використовуючи карту озера з ізобатами.

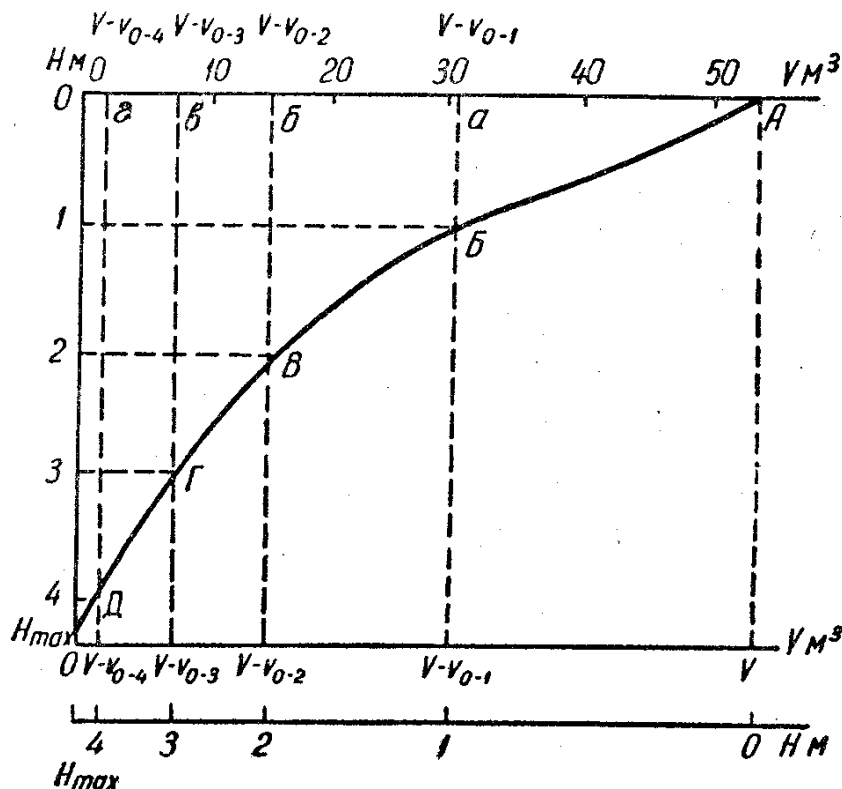


Рис. 9.3 – Об'ємна крива і об'ємна шкала озера

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по гидравлическим расчетам/Под ред. Киселева П.Г. – М.: Энергия. 1972 – 312 с.
2. Андреевская А.В., Панова М.В. Задачник по гидравлике. – М.: Энергия, 1970 – .306 с.
3. Морфологические и гидравлические исследования рек и водоемов. Под ред. Н.Е.Кондратьева, И.В. Попова.- Л.:Гидрометеиздат, 1988,156с.