

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК

по виконанню практичних робіт з дисципліни

«ДИНАМІКА РУСЛОВИХ ПОТОКІВ І РУСЛОВІ ПРОЦЕСИ»

для магістрів I-II року денної форми навчання
Спеціальність – 103 «Науки про Землю»

Одеса 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник
методичних вказівок
по виконанню практичних робіт з дисципліни
«Динаміка руслових потоків і руслові процеси»
для магістрів I-II року денної форми навчання
Спеціальність – 103 «Науки про Землю»

«Узгоджено»
декан магістерської та аспірантської підготовки
_____ Боровська Г.О.

Затверджено на засіданні кафедри гідрології суші
Протокол № 16 від «19» 04.2018 р.
Зав. кафедри гідрології суші

_____ Шакірзанова Ж.Р.

Одеса 2018

Збірник методичних вказівок по виконанню практичних робіт з дисципліни «Динаміка руслових потоків і руслові процеси» для магістрів I-II року денної форми навчання спеціальності 103 «Науки про Землю».

Укладачі: Даус М.Є., Кущенко Л.В. Одеса: ОДЕКУ, 2018.47 с., укр. мова.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Практична робота №1. Гідромеханічний аналіз руслового потоку.....	6
Практична робота №2. Розрахунок витрат рухомих наносів.....	16
Практична робота №3. Розрахунок транспортувальної здатності потоку.....	23
Практична робота №4. Розрахунок деформації дна русла.....	28
Додатки.....	35
Контрольні запитання до практичних робіт.....	49

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Динаміка руслових потоків і руслові процеси» належить до циклу професійної та практичної підготовки фахівців для підготовки за спеціальністю 103 «Науки про землю».

Метою дисципліни «Динаміка руслових потоків і руслові процеси» є підготовка фахівця, який володітиме теоретичними, науковими знаннями та практичними навичками, спрямованими на вивчення загальних закономірностей руслових потоків та руслових процесів, їх взаємодію та прогнозування.

Завданням вивчення дисципліни є вироблення у студентів розуміння умов формування руслових процесів у взаємодії з русловими потоками, освоєння методів їх розрахунку та прогнозу в природних умовах.

В результаті вивчення дисципліни магістри повинні **знати:**

- методи досліджень руслових процесів, їх теоретичний аналіз, методи природних вишукувань, фізичного та математичного моделювання;
- закономірності руху потоку по ґрунтовим руслам;
- гідравлічний опір по довжині природного русла;
- взаємодія русла та заплави;
- наноси та їх основні характеристики;
- транспортуюча спроможність потоку;
- руслові процеси та їх типізація;
- типізація річкових заплав;
- принципи прогнозів руслового процесу.

На основі отриманих знань магістри повинні **вміти:**

- оцінювати руслові процеси, що відбуваються;
- дотримуватися принципів розміщення інженерних споруд на берегах та в руслах річок для їх ефективного використання;
- виконувати типізацію і схематичну класифікацію.

Ця методична розробка є допоміжним матеріалом для виконання студентами практичних робіт і складається з 4 тем. Тема 1 показує розподіл осереднених швидкостей у руслових потоках та його розрахунки. Тема 2 присвячена розрахунку витрат рухомих наносів, тема 3 – розрахункам критичної мутності, тема 4 - розрахункам деформацій дна методом Караушева-Макавєєва. Кожна робота містить загальні теоретичні пояснення суттєвих положень даної теми, практичну частину, в якій наведено завдання та вхідну інформацію по варіантах у додатку. На останній сторінці методичних вказівок наведений перелік рекомендованої літератури.

Контроль поточних знань виконується на базі кредитно-модульної системи оцінювання знань. В якості форми поточного контролю використовується усне опитування при захисті виконаних практичних робіт. Кожна практична робота оцінюється у 15 балів. Максимальна кількість балів за практичну частину курсу становить 60 балів.

Практична робота №1

ГІДРОМЕХАНІЧНИЙ АНАЛІЗ РУСЛОВОГО ПОТОКУ

Загальні положення

Розподіл осереднених швидкостей у руслових потоках обумовлено комплексом факторів, таких як морфометричні особливості русла та заплави, ухил водної поверхні, шорсткість дна, водна рослинність, льодовий покрив, вітрове хвилювання, різні інженерні заходи і споруди та інш. Різноманітність та складність усіх цих факторів не дає можливості одержати теоретичний закон розподілу осереднених швидкостей по вертикалі. В простішому випадку плоскої рівномірної течії задача зводиться до визначення залежності:

$$\bar{U} = f\left(z, \frac{h}{\Delta}\right),$$

де \bar{U} - місцева осереднена швидкість;
 z - відстань від точки вимірювання до дна потоку;
 Δ - висота виступів шорсткості дна;
 h - глибина потоку.

На основі різних фізичних припущень і результатів аналізу численних лабораторних та натурних досліджень різними авторами були одержані різноманітні параболічні, еліптичні, степеневі та логарифмічні залежності для опису вертикального профілю швидкостей плоского потоку. Наведемо деякі з них.

А.В. Караушев запропонував еліптичну формулу виду

$$\bar{U} = \bar{U}_0 \sqrt{1 - \left(0,57 + \frac{3,3}{c}\right) \eta^2} \quad (1.1)$$

Х.Е. Базен – параболічну

$$\bar{U} = \bar{U}_0 - m \sqrt{h * I} * \eta^2$$

Є формула С.І. Колупайло – параболічна з вертикальною віссю

$$\bar{U} = a * z^{n/0,15},$$

де \bar{U} - швидкість в розрахунковій точці;
 \bar{U}_0 - поверхнева швидкість на вертикалі;
 m - параметр (за Базеном $m=24$; за Караушевим $m=0,35C+3$; за Буссинеском $m=22,3$);
 C - швидкісний коефіцієнт Шезі;
 $\eta = \frac{y}{h}$ - відносна відстань горизонту від поверхні;

y - відстань від поверхні до точки вимірювань;
 I - ухил водної поверхні;
 a_* - емпіричний коефіцієнт;
 n - коефіцієнт шорсткості за Манінгом.

С.І. Колупайло запропонував також степеневу залежність виду

$$\bar{U} = aU_{cp}z^{1/6}$$

де a, ν – емпіричні коефіцієнти;
 U_{cp} - середня швидкість на вертикалі.

В узагальненій формі степенева, залежність, яка описує криву розподілу осереднених швидкостей за глибиною потоку, може бути записана як

$$\bar{U} = U_0 \left(\frac{z}{h} \right)^m, \quad (1.2)$$

де z/h - відносна відстань точки вимірювань від дна;

m - показник степеню, пов'язаний з коефіцієнтом гідравлічного опору. Для рівнинних річок на ділянках з рівним або піщано-пасмовим дном значення m знаходиться в межах від 1/10 до 1/6.

А. Прандтль, впроваджуючи ряд припущень, одержав логарифмічний профіль швидкостей

$$\bar{U} = \frac{V_*}{\chi} \ln Az + C_1,$$

де $V_* = \sqrt{ghI}$ - динамічна швидкість;

χ - постійна Кармана, дорівнююча 0,40 (однак, у деяких роботах показано, що ця величина змінюється у значних межах, і запропоновані формули для визначення цього параметра);

A - постійна;

C_1 - постійна інтегрування.

Логарифмічне рівняння Т. Кармана має вигляд

$$\bar{U} = \bar{U}_0 + \frac{2,3V_*}{\chi} \lg \left(1 - \frac{y}{h} \right).$$

Існує ще логарифмічне рівняння Ясмунда-Никурадзе

$$\bar{U} = \frac{2,3V_*}{\chi} \lg \left(1 + \frac{1 - y/h}{\alpha} \right),$$

де α - характеристика відносної шорсткості.

В гідрометеорології логарифмічний закон вертикального розподілу осереднених швидкостей часто використовується у такій редакції

$$\bar{U} = \frac{2,3V_*}{\chi} \lg \left(\frac{z}{z_0} \right), \quad (1.3)$$

де z_0 - гідродинамічний параметр шорсткості.

За даними різних авторів установлена практично однакова точність опису профілю швидкості логарифмічною та степеневою формулами для ділянок рівнинних річок з рівним та піщано-пасмовим дном. Похибка апроксимації в середньому дорівнює 3 – 11%. Відхилення від степеневої та логарифмічної залежностей спостерігається у поверхневому та придонному шарах.

На ділянках рівнинних річок з різними інженерними спорудами та заходами епюри швидкості мають складний вигляд та істотно відрізняються від теоретичної. Тому точність апроксимації залежностями (1.1 – 1.3) невисока і погрішність досягає в окремих випадках 50%. Часто ані жодна з теоретичних формул не може бути використана для опису вертикального профілю осереднених швидкостей на цих ділянках.

Обмеженість даних про розподіл осереднених швидкостей на гірських ділянках рік не дозволяє зробити висновок про переваги тої чи іншої залежності для опису вертикального профілю. Є дані про достатню відповідність вимірюваного профілю швидкості з логарифмічним рівнянням (1.3), хоча точність апроксимації нижче, ніж на рівнинних ділянках рік. Ця обставина підтверджує припущення про те, що точність апроксимації вертикального профілю осереднених швидкостей в значній мірі зумовлена відносною шорсткістю. Крім того, наявність неупорядкованої шорсткості у вигляді великої гальки та валунів значно збільшує розбіжність вимірюваного і розрахункового профілю швидкості.

Аналіз результатів розрахунку профілю швидкостей показує, що в загальному випадку вони дають прийнятну відповідність, за виключенням формули Базена. Збіжність розрахункових та натурних даних обумовлюється обґрунтованістю постійних у формулах для визначення вертикального профілю осереднених швидкостей.

Таким чином, вибір розрахункової формули у кожному випадку визначається конкретними умовами.

Завдання

Задача 1.1. Виконати дослідження розподілу швидкостей та виявити загальні закономірності та особливості вертикального розподілу осереднених швидкостей на ділянках річки з рівним дном та у русловому кар'єрі. Розрахувати вертикальний профіль осереднених швидкостей за формулами (1.1) – (1.3). Порівняти результати розрахунку за різними формулами з даними вимірювань. Зробити аналіз отриманих результатів та надати висновки.

Дано: Значення швидкостей у п'яти точках по глибині потоку на ділянці з рівним дном та у русловому кар'єрі, глибина на вертикалі h , ухил поверхні води I . Варіанти розрахункових завдань наведені у додатку А.

Задача 1.2. Розрахувати середню швидкість потоку за формулою В.М. Гончарова та за формулою Шезі. Виконати аналіз та порівняти одержані результати.

Дано: Глибина потоку h , ухил поверхні води I , розмір найбільшої фракції наносів d_5 . Варіанти розрахункових завдань наведені у додатку Б.

Приклад розрахунку

Задача 1.1. Вихідні дані наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

Ділянка з рівним дном				Ділянка руслового кар'єру			
H , м	Точка вимірювання	z , м	\bar{U} , см/с	H , м	Точка вимірювання	z , м	\bar{U} , см/с
5,64	Пов.	5,44	55,1	8,10	Пов.	7,90	20,4
	0,2Н	4,51	49,0		0,2Н	6,48	24,3
	0,6Н	2,26	40,8		0,6Н	3,25	32,0
	0,8Н	1,13	39,1		0,8Н	1,62	33,0
	Дно	0,20	27,9		Дно	0,20	23,3
I= 0,000025				I= 0,000020			

1.1 Аналіз вертикального розподілу швидкостей виконуємо на основі епюр швидкостей в відносних координатах (рис. 1.1). Для побудови цих епюр, а також епюр швидкостей в логарифмічних (рис. 1.2) та в напівлогарифмічних (рис. 1.3) координатах необхідно зробити деякі додаткові розрахунки (таблиця 1.2). На рисунках 1.1 – 1.3 позиції «а» і «б» відповідають ділянкам з рівним дном та з русловим кар'єром.

Таблиця 1.2 – Допоміжна таблиця для побудови епюр швидкості в відносних, напівлогарифмічних та логарифмічних координатах

Точка вимірювання	z , см	z/H	$lg z$	$lg \bar{U}$	$lg z/H$	y	y/H
Ділянка з рівним дном							
Пов.	544	0,96	2,74	1,74	-0,02	20	0,04
0,2Н	451	0,80	2,65	1,69	-0,10	113	0,20
0,6Н	226	0,40	2,35	1,61	-0,40	338	0,60
0,8Н	113	0,20	2,05	1,59	-0,70	451	0,80
Дно	20	0,04	1,30	1,44	-1,40	544	0,96
Ділянка руслового кар'єру							
Пов.	790	0,98	2,90	1,31	-0,01	20	0,02
0,2Н	648	0,80	2,81	1,38	-0,10	162	0,20
0,6Н	325	0,40	2,51	1,50	-0,40	485	0,60
0,8Н	162	0,20	2,21	1,52	-0,70	648	0,80
Дно	20	0,02	1,30	1,37	-1,70	790	0,98

Аналіз вертикального розподілу осереднених швидкостей дозволяє зробити такі висновки. На ділянці з рівним дном осереднена швидкість досить плавно зменшується від поверхні до дна (рис. 1.1а).

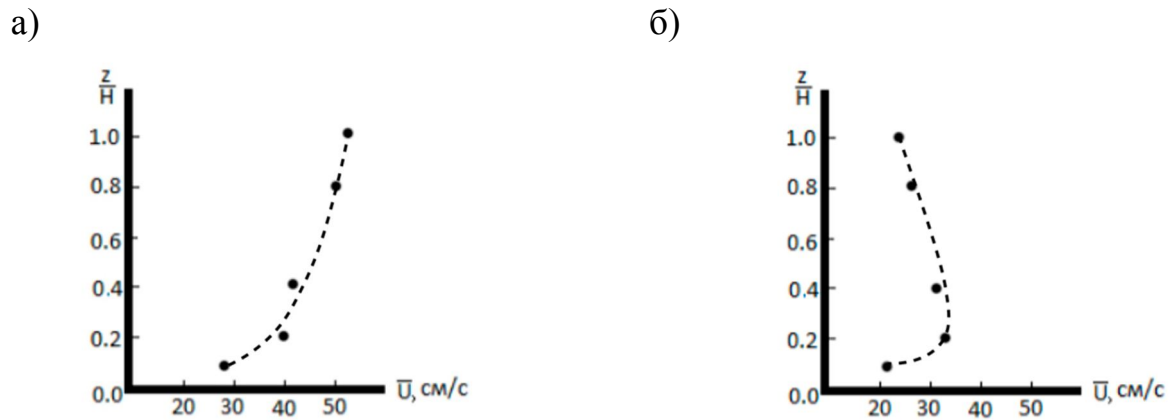


Рис. 1.1 – Розподіл швидкостей у відносних координатах на ділянці з рівним дном (а) і на ділянці руслового кар'єру (б)

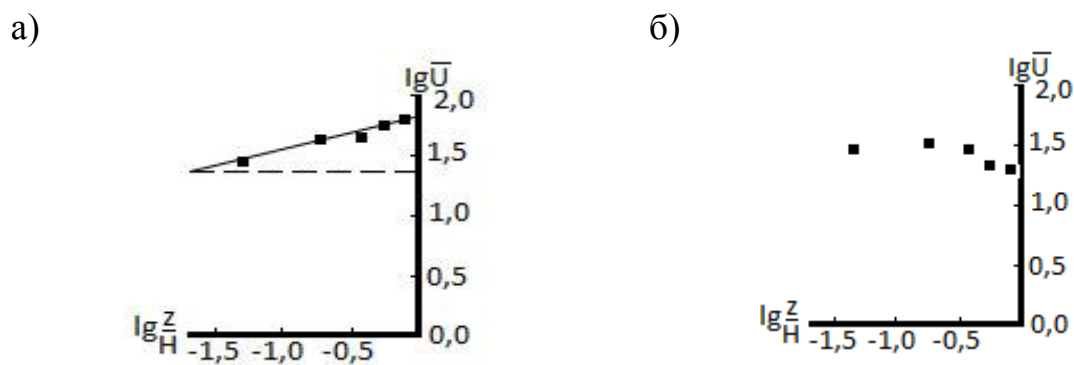


Рис. 1.2 – Розподіл швидкостей у логарифмічних координатах на ділянці з рівним дном (а) і на ділянці руслового кар'єру (б)

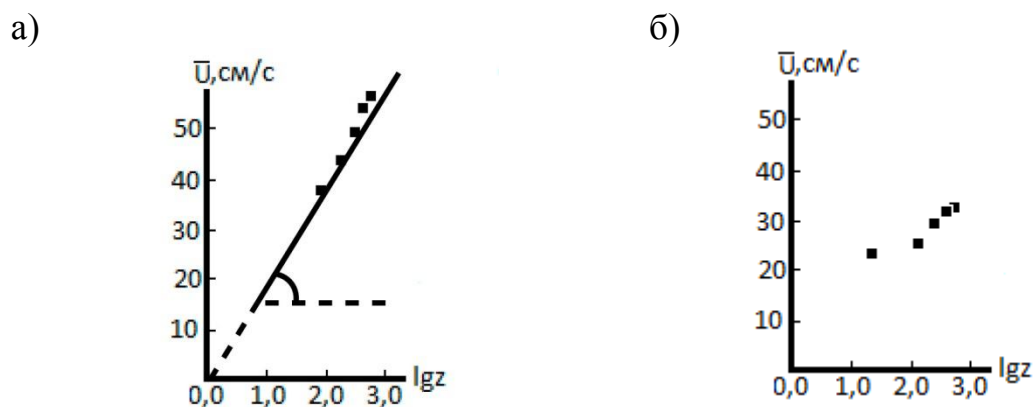


Рис. 1.3 – Розподіл швидкостей у напівлогарифмічних координатах на ділянці з рівним дном (а) і на ділянці руслового кар'єру (б).

Максимальне значення швидкості, яке дорівнює 55,1 см/с, відмічається біля поверхні, мінімальне – 27,9 см/с – білядна. Найбільші вертикальні градієнти швидкості спостерігаються в придонному шарі, найменші – в ядрі потоку. При цьому вертикальні градієнти швидкості позитивні по всій глибині потоку.

На ділянці руслового кар'єру вертикальний профіль швидкості ускладнюється (рис. 1.1б). По глибині потоку швидкість збільшується від поверхні до придонної області, після цього зменшується до дна. Максимальне значення швидкості спостерігається на рівні 0,8Н, мінімальне – у поверхні. Значення швидкості по глибині потоку знаходяться в межах 20,4 – 33,0 см/с. Вертикальні градієнти швидкості негативні у шарі поверхня – 0,8Н. Епюра швидкості на ділянці з рівним дном в логарифмічних та напівлогарифмічних координатах достатньо точно апроксимується прямими (рис. 1.2а, 1.3а).

1.2. Розраховуємо вертикальний профіль осереднених швидкостей за формулою А.В. Караушева (1.1).

Спочатку для кожної ділянки визначається коефіцієнт Шезі за формулою Манінга

$$C = \frac{1}{n} h^{1/6},$$

де h - глибина потоку;

n - коефіцієнт шорсткості

$$n = \frac{h^{2/3} I^{1/2}}{U_{cp}}$$

Середня швидкість на вертикалі U_{cp} обчислюємо за стандартною гідрометричною формулою

$$U_{cp} = 0,1(U_{пов} + 3U_{0,2} + 3U_{0,6} + 2U_{0,8} + U_{дно}).$$

Розрахунок наведений у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Розрахунок осереднених швидкостей за формулою Караушева

Точка вимірювання	Ділянка з рівним дном					Ділянка руслового кар'єру						
	\bar{U}_0 , см/с	C	$0,57 + \frac{3,3}{C} \left(\frac{y}{H}\right)^2$	\sqrt{D}	\bar{U} , см/с	\bar{U}_0 , см/с	C	$0,57 + \frac{3,3}{C} \left(\frac{y}{H}\right)^2$	\sqrt{D}	\bar{U} , см/с		
Пов.	55,1	359	0,58	0,002	1,0	55,1	33,0	218	0,58	0,0004	1,0	33,0
0,2Н				0,04	0,99	54,4				0,04	0,99	32,6
0,6Н				0,36	0,89	49,0				0,36	0,89	29,4
0,8Н				0,64	0,79	43,7				0,64	0,73	26,2
Дно				0,93	0,68	37,4				0,96	0,66	21,8
$D = 1 - (0,57 + 33 / C) (y / H)^2$												

1.3. Розраховуємо значення швидкостей за степеневу залежністю (1.2). Параметри U_0 та показник степеня m знаходимо графічним способом.

В логарифмічних координатах (рис. 1.2) залежність (1.2) приймає вигляд

$$\lg \bar{U} = \lg \bar{U}_0 + m \lg \left(\frac{z}{h} \right)$$

На графіку (рис. 1.2) величина $\lg \bar{U}_0$ визначається відрізком, який відсікає пряма на вісі ординат. Показник степеня m дорівнює тангенсу кута нахилу прямої до осі абсцис, тобто

$$m = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\lg \bar{U}}{\lg(z/h)}$$

а) Ділянка з рівним дном.

Епюра осереднених швидкостей в логарифмічних координатах апроксимується прямою (рис. 1.2а). За графіком знаходимо параметри залежності (1.4)

$$\lg \bar{U}_0 = 1,76 \quad m = \operatorname{tg} \alpha = \frac{0,45}{1,9} = 0,24$$

Обчислюємо осереднену швидкість в кожній точці за виразом (1.4)

$$\text{Пов. } \lg \bar{U} = 1,76 + 0,24(-0,02) = 1,75, \bar{U} = 56,2 \text{ см / с}$$

$$0,2\text{Н } \lg \bar{U} = 1,76 + 0,24(-0,10) = 1,74, \bar{U} = 55,0 \text{ см / с}$$

$$0,6\text{Н } \lg \bar{U} = 1,76 + 0,24(-0,40) = 1,66, \bar{U} = 45,7 \text{ см / с}$$

$$0,8\text{Н } \lg \bar{U} = 1,76 + 0,24(-0,70) = 1,59, \bar{U} = 38,9 \text{ см / с}$$

$$\text{Дно } \lg \bar{U} = 1,76 + 0,24(-1,40) = 1,42, \bar{U} = 26,3 \text{ см / с}$$

б) Ділянка руслового кар'єру

Аналіз епюри осереднених швидкостей в логарифмічних координатах (рис. 1.2б) виявив, що на ділянці руслового кар'єру вертикальний розподіл швидкостей не апроксимується залежністю (1.2).

1.4. Розраховуємо профіль швидкостей за логарифмічною залежністю (1.3), яку можна записати у вигляді

$$\bar{U} = \frac{2,3V_*}{\chi} (\lg z - \lg z_0). \quad (1.5)$$

Параметри рівняння (1.5) визначаються графічним способом (рис. 1.3). Величина $\lg z_0$ дорівнює відрізку прямої на осі абсцис при $\bar{U} = 0$. Величина $2,3V_* / \chi$ визначається тангенсом кута нахилу прямої до осі абсцис, тобто

$$\frac{2,3V_*}{\chi} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\bar{U}}{\lg z}$$

а) Ділянка з рівним дном.

За графіком (рис. 1.3а) визначаємо параметри рівняння (1.5).

$$Igz_0 = 0,05, \frac{2,3V^*}{\chi} = tg\alpha = \frac{42,5}{2,2} = 19,3$$

Визначивши параметри, розрахуємо значення швидкостей за рівнянням (1.5).

$$\text{Пов. } \bar{U} = 19,3(2,74 - 0,05) = 51,9 \text{ см/с}$$

$$0,2\text{Н } \bar{U} = 19,3(2,65 - 0,05) = 50,2 \text{ см/с}$$

$$0,6\text{Н } \bar{U} = 19,3(2,35 - 0,05) = 44,3 \text{ см/с}$$

$$0,8\text{Н } \bar{U} = 19,3(2,05 - 0,05) = 38,6 \text{ см/с}$$

$$\text{Дно } \bar{U} = 19,3(1,30 - 0,05) = 24,1 \text{ см/с}$$

б) Ділянка руслового кар'єру.

З наведеного на рис. 1.3б графіка видно, що вертикальний розподіл швидкостей не підпорядковується логарифмічному закону, тобто вимірювані швидкості утворюють поле точок, яке не апроксимується прямою.

Результати розрахунків за формулами (1.1) – (1.3) заносимо до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Зведена таблиця результатів розрахунку за різними формулами

Точка вимірювання	\bar{U} , см/с	Формула Караушева		Логарифмічна залежність		Степенна залежність	
		\bar{U} , см/с	Δ , %	\bar{U} , см/с	Δ , %	\bar{U} , см/с	Δ , %
Ділянка з рівним дном							
Пов.	55,1	55,1	0	51,9	5,8	56,2	2,0
0,2Н	49,0	54,4	-11,0	50,2	-2,4	55,0	-12,0
0,6Н	40,8	49,0	-20,0	44,3	-8,6	45,7	-12,0
0,8Н	39,1	43,7	-11,2	38,6	1,3	38,9	5,7
Дно	27,9	31,4	-34,0	24,1	13,6	26,3	
Ділянка руслового кар'єру							
Пов.	20,4	33,0	-38,1				
0,2Н	24,3	32,6	-45,3				
0,6Н	32,0	29,4	48,1				
0,8Н	33,0	26,2	18,2				
Дно	23,3	21,8	6,4				

За даними табл. 1.4 визначаємо відхилення розрахункової швидкості від вимірюваної в %

$$\Delta U = \frac{\bar{U}_{\text{вим}} - \bar{U}_p}{\bar{U}_{\text{вим}}} * 100$$

Аналіз таблиці 1.4 показує, що апроксимація вертикального профілю осереднених швидкостей залежністю Караушева забезпечує точність

розрахунку в середньому по вертикалі 15,2% на ділянці з рівним дном і 31,2% у русловому кар'єрі. При цьому на ділянці з рівним дном формула (1.1) дає завищені результати по всій глибині, на ділянці руслового кар'єру – у поверхневому шарі.

На ділянці з рівним дном найкраще відповідають даним вимірювань степенева (1.2) та логарифмічна (1.3) залежності. Середня похибка розрахунку не перевищує 6,5%. Найбільше відхилення розрахункового профілю від вимірюваного виявляється в придонній області та на поверхні.

Таким чином, на ділянці з рівним дном як розрахункова формула може бути використана степенева залежність виду (1.2).

Задача 1.2. Обчислити середню швидкість потоку за формулою Шезі

$$U_{cp} = c\sqrt{hI}, \quad (1.6)$$

а також за формулою В.М. Гончарова, яка є уточненим вираженням формули (1.6) і має вигляд

$$U_{cp} = 4lg \frac{6,15h}{\Delta} \sqrt{2ghI} \quad (1.7)$$

Дано: глибина потоку $h_1=1,50$ м, $h_2=3,0$ м і ухил водної поверхні $I=0,0004$, розмір найбільшої фракції наносів $d_5=40,0$ мм.

Спочатку треба визначити параметри, які входять до формул (1.6) і (1.7).

Висота виступів шорсткості Δ рівна

$$\Delta = 0,7d_5 \quad (1.8)$$

Швидкісний коефіцієнт Шезі C визначаємо за формулою Манінга

$$C = \frac{1}{n} h^{1/6} \quad (1.9)$$

Використовуючи співвідношення коефіцієнта шорсткості n з висотою виступів шорсткості Δ , знаходимо n , як

в діапазоні $\frac{h}{\Delta}$ від 10 до 1000

$$\Delta^{1/6} = 22,2n \quad (1.10)$$

в діапазоні $\frac{h}{\Delta}$ від 1000 до 4500

$$\Delta^{1/8} = 28,3n \quad (1.11)$$

Порядок розрахунку

1. Визначаємо висоту виступів шорсткості за формулою (1.8)

$$\Delta = 0,7 * 40,0 = 28,0 \text{ мм}$$

2. Оскільки відношення $\frac{h_1}{\Delta} = 53,4$ і $\frac{h_2}{\Delta} = 107$, то значення коефіцієнта шорсткості знаходимо за виразом (1.10)

$$n = \frac{0,028^{1/6}}{22,2} = 0,025$$

3. Швидкісний коефіцієнт Шезі дорівнює

$$C_1 = \frac{1}{0,025} 1,5^{1/6} = 42,8 \text{ і } C_2 = \frac{1}{0,025} 3,0^{1/6} = 48,0.$$

4. Підставимо дані до формули Шезі (1.6) і обчислюємо середню швидкість

$$U_{cp1} = 42,8 * \sqrt{1,5 * 0,0004} = 1,05 \text{ м/с}$$

та

$$U_{cp2} = 48,0 * \sqrt{3,0 * 0,0004} = 1,66 \text{ м/с}$$

5. Визначаємо середню швидкість за формулою Гончарова (1.7)

$$U_{cp1} = 4 \lg \frac{6,15 * 1,5}{0,028} \sqrt{2 * 9,81 * 1,5 * 0,0004} = 1,09 \text{ м/с}$$

та

$$U_{cp2} = 4 \lg \frac{6,15 * 3,0}{0,028} \sqrt{2 * 9,81 * 3,0 * 0,0004} = 1,22 \text{ м/с}$$

Література

1. Даус М.Є. Динаміка руслових потоків і руслові процеси: Конспект лекцій (електронна версія). – Одеса: ОДЕКУ, 2017. – 155 с.

2. Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. –Л.: Гидрометеиздат, 1988, 455 с., п.1.10.

Практична робота №2

РОЗРАХУНОК ВИТРАТ РУХОМИХ НАНОСІВ

Загальні положення

Відомо, що річкові наноси за характером руху поділяють на завислі та рухомі. Однак такий розподіл є умовним. Здатність потоку відривати та переносити частинки залежить від фізичних властивостей цих частинок і параметрів потоку. Саме тому наноси можуть знаходитись в завислому стані, підскакувати або знаходитись на дні.

Лабораторні дослідження показують, що наноси, які знаходяться на дні, починають пересуватись тільки після того, коли швидкість течії досягне критичного значення $U_{cp} \geq U_{кр}$.

Критичні швидкості потоку є найбільш важливими характеристиками динамічної взаємодії потоку та русла. Результати експериментальних досліджень по вивченню закономірностей руху наносів показали існування двох критичних швидкостей: непересуваючої та зриваючої. Непересуваюча швидкість – найбільша швидкість, за якої основна маса частинок на дні ще зберігає стан спокою. Можна сказати, що непересуваюча швидкість відповідає умовам граничної динамічної сталості частинок. Зриваюча швидкість – найменша швидкість потоку, за якої починається масове пересування частинок. Згідно з експериментальними даними співвідношення між непересуваючою та зриваючою швидкостями коливається у межах 1,3 – 1,5. В середньому можна прийняти $V_z = 1,4 V_n$.

Для виводу розрахункових значень критичних швидкостей потоку використовують рівняння, які виражають умови сталості частинок на дні, виходячи з рівноваги діючих сил

$$F_x = (G - F_y)fk_1, \quad (2.1)$$

або їх моментів

$$F_x l_x + F_y l_y = Glk_2, \quad (2.2)$$

де F_x - сила зсуву;

F_y - підйомна сила;

G - сила ваги;

f - коефіцієнт тертя;

l_x, l_y, l - плечі відповідних сил;

k_1, k_2 - коефіцієнти сталості.

Вирішуючи рівняння (2.1) і (2.2) різні автори одержали різні формули для критичних швидкостей. Наведемо деякі з цих формул для непересуваючої швидкості:

В.М. Гончарова

$$V_H = \lg\left(\frac{8,8h}{d_5}\right) \sqrt{\frac{2g(\rho_s - \rho)d}{3,5\rho}} \quad (2.3)$$

І.І. Леві

$$V_0 = 1,4\sqrt{gd} \lg \frac{12h}{d_{10}} \quad \text{при } \frac{h}{d_{10}} \geq 60 \quad (2.4)$$

Г.І. Шамова

$$V_H = 3,7d^{1/3}h^{1/6} \quad (2.5)$$

Є.А. Замарина

$$V_H = \alpha^{2+h} \sqrt{h},$$

де $\alpha = f(d)$, змінюється від 0,95 до 1,15 при d від 0,5 до 1,5 см;

h - глибина потоку;

ρ_s та ρ - відповідно густина наносів і води;

d_5 і d_{10} - найбільший діаметр наносів у суміші, частка якого складає відповідно не менш 5% та 10% загальної кількості наносів;

d - середній діаметр наносів.

Режими переміщення наносів у придонному шарі можуть бути різними. При середніх швидкостях потоку, декілька більш критичних-непересуваючих, наноси в придоннім шарі переміщуються або підскакуючи (сальтація), або волочіння по дну. При зростанні швидкостей потоку і переході їх крізь критичне значення спостерігається донно-пасмова фаза пересування наносів.

При відсутності спостережень, стік твердих наносів обчислюють за емпіричними формулами, різноманітність яких поділяють на чотири групи. В основі розподілу лежить визначаючий параметр. Слід відмітити, що ця класифікація є досить умовною.

Першу групу складають формули, в яких витрати наносів визначаються в залежності від швидкості руху води. Як приклад наведемо формули І.І. Леві, В.М. Гончарова, Г.І. Шамова:

Формула Леві

$$q_m = 0,002 \left(\frac{U}{\sqrt{gd}} \right)^3 (U - U_{кр}) \left(\frac{d}{h} \right)^{0,25}, \text{ кг/(с*м)} \quad (2.6)$$

Формула Гончарова

$$q_m = 1,2(1 + \varphi) U_{кр} d (U/U_{кр})^{4,33}, \text{ кг/(с*м)} \quad (2.7)$$

Формула Шамова

$$q_m = 0,95\sqrt{d} \left(\frac{U}{U_{кр}} \right)^3 (U - U_{кр}) \left(\frac{d}{h} \right)^{0,25}, \text{ кг/(с*м)} \quad (2.8)$$

де q_m - витрата тягнених наносів на одиницю ширини потоку;

U - середня швидкість потоку;

$U_{кр}$ - критична непересуваюча швидкість потоку;

φ - параметр турбулентності.

Обчислення витрат наносів за формулами (2.6 – 2.8) дають приблизні результати порівняно з натурними спостереженнями. При цьому (2.8) зменшує витрати наносів. Для пісків розміром $d < 0,15$ мм формули (2.6) та (2.8) малопридатні, а формула (2.7) дає завищену кількість витрат наносів.

ВСН 01-73 рекомендує застосовувати для розрахунку витрат піщаних наносів ($0,1 \text{ мм} \leq d \leq 2 \text{ мм}$) формулу (2.8); для більш крупних гравілистих наносів ($0,2 \text{ мм} < d < 10 \text{ мм}$) – формулу (2.7).

До цієї групи належать також формули Г.В. Лопатіна, К.В. Гришаніна, К. Брауна, ван Рейна та ін.

До другої групи слід віднести формули, які обумовлені силою волочіння (потягу).

$$\tau = \rho \times g \times h \times I_0$$

Формули цієї групи не мають широкого розповсюдження в нашій країні. Як приклад можна навести формулу І.В. Єгіазарова для гірських річок з гравійно-гальковими наносами.

$$q_T = \alpha \rho_1 g \sqrt{I} \left(\frac{\tau - \tau_0}{\tau_0} \right),$$

де α - постійна;

ρ_1 - густина наносів;

g - прискорення вільного падіння;

τ_0 - сила потягу, при якій починається волочіння наносів.

Третю групу складають формули, в яких твердий стік має функцію витрати води від похилу. Формули цієї групи мають широке розповсюдження за рубежом. Це формули Чанга, Дисильберта, Мейера-Петера, Штраубе та інші. Як приклад наведемо формулу Шоклича

$$q_T = \frac{\alpha}{\sqrt{d}} I^{3/2} (q - q_0), \text{ кг/(с*м)}$$

де α - числовий параметр;

q та q_0 - витрата води на одиницю ширини потоку – побутовий та на початку руху наносів.

До четвертої групи відносять формули, визначені за статистичним аналізом окремих твердих частинок. Можна відмітити формули

Г. Ейнштейна, Доу-Го-Ження, К.І. Росінського. Остання формула враховує наноси, які рухаються шляхом сальтації та перекочування і має такий вигляд

$$q_T = \beta \times \rho_1 \times d(\alpha_1 U_{np} + \alpha_2 U_c),$$

де $\beta \approx 0,2$;

α_1, α_2 - коефіцієнти, які відображають суцільність руху частинок;

$(U_{np}; U_c)$ - швидкість частинок, переміщених відповідно перекочуванням або сальтацією.

Більшість наведених формул можна звести до одного розрахункового виду, а саме $q_T = f(U / U_{кр})$, що вказує на достовірність положень, на яких ґрунтується висновок.

Для розрахунку наносів, які переміщуються у донно-пасмовій формі, окрім вищезгаданих формул, рекомендується формула

$$q_z = \alpha \Delta_a C_z, \quad (2.9)$$

де α - коефіцієнт форми пасма

Δ_a - висота пасма;

\tilde{N}_a - швидкість руху пасма.

Висоту та швидкість пасма визначають за емпіричними формулами різних авторів. Так, за формулами Г.В. Железнякова та В.К. Дебольського

$$\Delta_z = 1,25h \left(\frac{U}{U_{кр}} \frac{d}{h} \frac{\omega}{\sqrt{gh}} \right)^{0,2} \quad (2.10)$$

$$C_z = 0,001 \sqrt{gh} \left(\frac{U}{U_{кр}} \frac{h}{\Delta_z} \sqrt{\frac{\omega}{U_{кр}}} \right)^2, \quad (2.11)$$

де ω - гідравлічна крупність частинок.

Завдання

Задача 2.1. Визначити питомі витрати рухомих наносів за формулами І.І. Леві (2.6), Г.І. Шамова (2.8), В.М. Гончарова (2.7).

Задача 2.2. Обчислити витрату наносів за донно-пасмову фазу їх переміщення за формулою (2.9).

Дано: середня глибина потоку h , середня швидкість потоку U_{cp} , склад донних наносів $-d_1, d_5, d_{10}$.

Варіанти розрахункових завдань до обох задач наведені у додатку В.

Приклад розрахунку

Задача 1. Розрахувати питомі витрати рухомих наносів за формулами (2.6) – (2.8).

Дано: глибина потоку $h=0,8$ м; середня швидкість потоку $U_{cp}=0,32$ м/с; середній діаметр частинок $d_l=0,12$ мм; розмір найбільшої фракції $d_5=0,20$ мм; $d_{10}=0,17$ мм; густина води $\rho=1,0$ т/м³, густина наносів $\rho_s=2,65$ т/м³.

Порядок розрахунку

1. Перед усім необхідно обчислити критичні непересуваючі швидкості за відповідними формулами

а) за формулою І.І. Леві (2.4) значення критичної непересуваючої швидкості дорівнює

$$V_H = 1,4 \sqrt{9,81 \times 0,00012} \lg \left(\frac{12 \times 0,8}{0,00017} \right) = 0,23 \text{ м/с}$$

б) за формулою В.М. Гончарова (2.3) значення критичної непересуваючої швидкості дорівнює

$$V_H = \left(\lg \frac{8,8 \times 0,8}{0,00020} \right) \times \sqrt{\frac{2 \times 9,81 (2,65 - 1,0) \times 0,00012}{3,5 \times 1,0}} = 0,15 \text{ м/с}$$

в) за формулою Г.І. Шамова (2.5) значення критичної непересуваючої швидкості дорівнює

$$V_H = 3,7 \times 0,00012^{1/3} \times 0,8^{1/6} = 0,18 \text{ м/с}.$$

2. Використовуючи результати обчислення критичних швидкостей, визначаємо питомі витрати тягнених наносів. У кожному разі перевіряємо умову початку руху наносів $U_{cp} \geq U_{кр}$.

а) за формулою І.І. Леві $V_H = 0,23$ і \tilde{n} . Оскільки $0,32$ м/с $>$ $0,23$ м/с ($U_{cp} \geq U_{кр}$) рух наносів відбувається. Витрата тягнених наносів за формулою (2.6) дорівнює

$$q_T = 0,002 \times 0,00012 \left(\frac{0,32}{\sqrt{9,8 \times 0,00012}} \right)^3 (0,32 - 0,23) \times \left(\frac{0,00012}{0,8} \right)^{0,25} = 1,94 \times 10^{-6} \text{ кг/(с} \times \text{м)}$$

б) за формулою В.М. Гончарова $V_H = 0,15$ м/с. Порівнюючи значення середньої та критичної швидкостей, робимо висновок, що рух донних наносів відбувається так як $U_{cp} \geq U_{кр}$. Дала за середнім діаметром визначаємо параметр φ (додаток К). При $d_l=0,12$ мм $\varphi=6,49$. Підставимо вихідні дані в формулу (2.7)

$$q_T = 1,2 \times (1 + 6,49) \times 0,15 \times 0,00012 \left(\frac{0,32}{0,15} \right)^{4,33} = 4,30 \times 10^{-3} \text{ кг/м} \times \text{с}$$

в) за формулою Г.І. Шамова $V_H = 0,18$ м/с. Умова початку руху наносів виконується, оскільки $U_{cp} \geq U_{кр}$ ($0,32$ м/с $>$ $0,18$ м/с). Витрата тягнених наносів за формулою (2.8) дорівнює

$$q_T = 0,95 \sqrt{0,00012} \times \left(\frac{0,32}{0,18} \right)^3 \times (0,32 - 0,18) \left(\frac{0,00012}{0,8} \right)^{0,25} = 9,06 \times 10^{-4} \text{ кг/(с} \times \text{м)}$$

Аналіз одержаних результатів показує, що значення питомих витрат тягнених наносів, обчислених за різними формулами, мають значну різницю.

Задача 2. Обчислити витрати тягнених наносів за донно-пасмову фазу їх переміщення.

Дано: вихідні дані такі ж, як до задачі 1, температура води $t^{\circ}=18^{\circ}\text{C}$.

Порядок розрахунку

У випадку донно-пасмового руху наносів їх витрати можна обчислити за виразом (2.9) за параметрами пасм. Спочатку встановлюємо характер переміщення наносів. Виходячи з припущення В.М. Гончарова, переміщення наносів у донно-пасмовій фазі відбувається за середніх швидкостей потоку в діапазоні $U' \leq U \leq U'''$. Критичні швидкості $U' \text{ та } U'''$ знаходять з виразів

$$U' = 2,5U_{\text{кр}} \left(\frac{d_5}{h} \right)^{1/12} \quad (2.12)$$

та

$$U''' = 2,5U_{\text{кр}} \left(\frac{h}{d_5} \right)^{1/12} \quad (2.13)$$

За критичну швидкість $U_{\text{кр}}$ використовуємо U_i за формулою В.М. Гончарова ($U_i = 0,15 \text{ м/с}$, дивись задачу 1). Підставимо початкові дані в (2.12) та (2.13)

$$U' = 2,5 \times 0,15 \left(\frac{0,00020}{0,8} \right)^{1/12} = 0,19 \text{ м/с}$$

$$U''' = 2,5 \times 0,15 \left(\frac{0,8}{0,00020} \right)^{1/12} = 0,75 \text{ м/с}$$

Порівнюючи значення середньої швидкості з одержаними критичними швидкостями ($0,19 < 0,32 < 0,75$) робимо висновок, що переміщення наносів відбувається в донно-пасмовій фазі.

Далі знаходимо параметри пасм – висоту та швидкість руху – за формулами (2.10), (2.11). Для цього спочатку визначаємо гідравлічну крупність частинок за заданою температурою води та середнім діаметром (додаток Д). При $t=18^{\circ}\text{C}$ і $d=0,12 \text{ мм}$ гідравлічна крупність $\omega=0,00864 \text{ м/с}$. Тоді висота пасма

$$\Delta_2 = 1,25 \times 0,8 \left(\frac{0,32 \times 0,00012 \times 0,00864}{0,15 \times 0,8 \times \sqrt{9,81 \times 0,8}} \right)^{0,2} = 0,063 \text{ м}$$

швидкість руху пасма

$$C_2 = 0,001 \times \sqrt{9,81 \times 0,00012} \left(\frac{0,32 \times 0,8}{0,15 \times 0,063} \times \sqrt{\frac{0,00864}{0,15}} \right)^2 = 0,0014 \text{ м/с}$$

Підставляючи висоту та швидкість переміщення пасма в (2.9), прийнявши $\alpha=0,6$, отримуємо

$$q_T = 0,6 \times 0,063 \times 0,0014 = 0,53 \times 10^{-3} \text{ кг/(м} \times \text{с)}$$

Література

1. Даус М.Є. Динаміка руслових потоків і руслові процеси: Конспект лекцій (електронна версія). – Одеса: ОДЕКУ, 2017. – 155 с.
2. Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы.-Л.: Гидрометеоиздат, 1988,-п.2.6, п.2.8, п. 2.10, п.2.11.
3. Методические рекомендации по измерению и расчету стока влекомых наносов. –Л.: Гидрометеоиздат, 1982, -38с.

Практична робота №3

РОЗРАХУНОК ТРАНСПОРТУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОТОКУ

В процесі взаємодії потоку і русла важливу роль відіграє взаємообмін наносами потоку та русла. Кількість наносів, яка транспортується потоком, визначає процеси формування річкового русла, замулення водосховищ, занесення суднохідних шляхів та ін.

Відкритий потік при певних морфологічних і гідравлічних умовах може переносити певну кількість завислих частинок заданої гідравлічної крупності. Існуюча межа витрати наносів визначає транспортувальну здатність потоку, цій межі відповідає середня у живому перерізі кількість твердих частинок, яка називається *критичною мутністю*. Швидкість течії, яка відповідає критичному насиченню потоку наносами, називається *незамулювальною*.

Транспортувальна здатність потоку є важливою характеристикою при проектуванні гідротехнічних споруд на річках, оцінці зміни гідрологічного режиму в умовах антропогенного впливу.

Мета роботи – розрахунок критичної мутності за існуючими формулами.

Розрахункові формули та їх аналіз.

Існуючі методи розрахунку транспортувальної здатності потоку можна поділити на дві групи: I – емпіричні формули, II – залежності, отримані із теоретичних та експериментальних досліджень.

I. Більшість емпіричних формул для розрахунку критичної мутності можна звести до вигляду:

$$S_{\text{сєр}} = k(v^m / H^n \omega^a),$$

де $S_{\text{сєр}}$ – середня мутність потоку, яка відповідає його транспортувальній здатності, v – швидкість потоку, ω – середня гідравлічна крупність частинок, H – глибина потоку, m , n , a – параметри, які визначаються із дослідних даних.

В цій групі найбільше практичне поширення отримали формули Є.А. Замаріна, А.В. Караушева, С.Х. Абальянца та ін.

Є.А. Замарін на основі спостережень на системах Аму-Дар'ї, Аракса та Колорадо запропонував розрахункові формули:

а) для наносів із гідравлічною крупністю від 0,002 м/с до 0,008 м/с:

$$S_{\text{сєр}} = 0,022(v_{\text{сєр}}/\omega)^{3/2} \sqrt{HI}, \text{ [кг/м}^3\text{]} \quad (3.1)$$

б) для наносів у діапазоні $0,0004 \leq \omega \leq 0,002$ м/с:

$$S_{\text{сеп}} = 11v_{\text{сеп}}\sqrt{Hv_{\text{сеп}}/\omega}, \text{ [кг/м}^3\text{]}. \quad (3.2)$$

А.В. Караушев для наносів середньої гідравлічної крупності від 0,0009 м/с до 0,02 м/с рекомендує таку емпіричну формулу:

$$S_{\text{сеп}} = 0,36 \frac{Nv_{\text{сеп}}^2}{H} \left(\frac{v_{\text{сеп}}}{\omega}\right)^{0,75} 10^{-3}, \text{ [кг/м}^3\text{]}. \quad (3.3)$$

де N – характеристичне число, пов'язане із коефіцієнтом Шезі $N=MC/g$, тут g – прискорення вільного падіння, M – параметр, який змінюється: при $10 \leq C \leq 60$, $M=0,7C+6$; при $60 < C \leq 90$, $M=48$.

Коефіцієнт Шезі C визначається за формулою Маннінга, n – коефіцієнт шорсткості русла:

$$C = \frac{1}{n} H^{\frac{1}{6}}, \quad n = \frac{H^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}}{v_{\text{сеп}}}$$

Використавши матеріали спостережень на каналах системи Куль-Арик в середній течії Аму-Дар'ї, А.Г. Хачатрян отримав формулу для граничної мутності. Ця формула встановлює зв'язок між здатністю до зависання та вертикальною пульсаційною швидкістю у потоці:

$$S_{\text{сеп}} = C_T \left(\ln \frac{\omega_0}{\omega_1} - \frac{\omega_0 - \omega_1}{\omega_0} \right), \quad (3.4)$$

де C_T – коефіцієнт, який відповідає граничним умовам зависання твердих частинок у потоці, $C_T = 200\omega_0$; ω_0 – найбільша гідравлічна крупність твердих частинок, які можуть зависати у потоці, $\omega_0 = 0,065$ м/с, $v_{\text{сеп}} = 0,05$ м/с; ω_1 – найменша гідравлічна крупність зависі.

II. Залежності другої групи більш універсальні. Серед них треба відмітити формули М.А. Великанова, В.Н. Гончарова, А.Н. Гостунського, теоретичні методи розрахунку транспорту наносів А.В. Караушева, К.І. Россінського, І.А. Кузьміна.

В практиці гідрологічних розрахунків широке застосування отримав спосіб оцінки К.І. Россінського та І.А. Кузьміна. Особливість цього методу заключається у різниці критеріїв, які показують умови недозавантаження потоку наносами та стан граничного насичення. Для оцінки граничного насичення потоку наносами К.І. Россінський запропонував формулу:

$$S_{\text{сеп}} = 0,0024 \frac{v^3}{H\omega}, \text{ [кг/м}^3\text{]} \quad (3.5)$$

де H – глибина потоку, ω – середня гідравлічна крупність, м/с; v – швидкість потоку, м/с.

Теоретичною основою формул К.В. Гришаніна, А.В. Караушева, С.Х. Абальянца, І.І. Левідля критичної концентрації наносів є гравітаційна теорія руху наносів М.А. Веліканова.

К.В. Гришанін отримав залежність для транспортувальної здатності потоку такого виду:

$$S_{\text{сер}} = \frac{v_{\text{сер}}^2 v_* c}{gH \omega \sqrt{g}} \quad (3.6)$$

де v_* - динамічна швидкість, $v_* = \sqrt{gHl}$.

Формула С.Х. Абальянца має вигляд:

$$S_{\text{сер}} = 66,7 \cdot 10^{-6} \frac{v_{\text{сер}}^2 v_* c}{gH \omega \sqrt{g}} \quad (3.7)$$

Формула І.І. Леві ґрунтується на результатах дослідів В.С. Кнороза в лотку з рівним дном при значеннях середньої гідравлічної крупності від 0,68 см/с до 3,87 см/с:

$$S_{\text{сер}} = 0,006 \left(\frac{v_{\text{сер}}}{\omega} \right)^4 \left(\frac{d}{H} \right)^{1,6} \quad (3.8)$$

Значення гідравлічної крупності частинок за дослідними даними наведені у додатку Д.

Завдання.

Розрахувати величину граничної (критичної) мутності, яку потік може переносити за даних гідравлічних умов, за формулами (3.1)-(3.3) та (3.5)-(3.7). Скласти зведену таблицю 3.1 та порівняти отримані результати, прийнявши за опорну формулу Є.А. Замаріна (3.1) або (3.2). Проаналізувати результати.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків величини граничної мутності

Формула Є.А. Замаріна	Формула А.В. Карауше- шева		Формула К.В. Гришаніна		Формула К.І. Россін- ського		Формула С.Х. Абальянца	
	$S_{\text{сер}}, \text{кг/м}^3$	%	$S_{\text{сер}}, \text{кг/м}^3$	%	$S_{\text{сер}}, \text{кг/м}^3$	%	$S_{\text{сер}}, \text{кг/м}^3$	%

Задача 3.1. Розрахувати середню по живому перерізу величину граничної мутності, якщо температура води 18°C і середня крупність частинок: а) $d_{\text{сер}}=0,01$ мм; б) $d_{\text{сер}}=0,05$ мм.

Вихідні дані за варіантами подані у таблиці 3.2.

Задача 3.2. Розрахувати транспортуючу здатність потоку по живому перерізу за формулами К.В. Гришаніна та Є.А. Замаріна, якщо $I=0,000045$, середня крупність частинок $d_{сер}=0,12$ мм. Форма і розміри живого перерізу русла задані у додатку П.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані до задачі 3.1.

Номер варіанту	H , м	B , м	v , м/с	I , ‰
1	4,44	63,6	0,29	0,000028
2	5,27	69,0	0,45	0,000026
3	5,70	69,5	0,39	0,000025
4	5,19	68,7	0,42	0,000013
5	5,35	69,1	0,35	0,000014
6	4,37	65,2	0,40	0,000015
7	4,65	68,0	0,56	0,000024
8	4,90	67,5	0,59	0,000027
9	5,20	68,3	0,72	0,000030
10	8,10	52,0	0,42	0,000011
11	5,30	62,3	0,66	0,000020
12	5,90	68,0	0,70	0,000018
13	5,28	61,8	0,41	0,000015
14	5,70	63,7	0,51	0,000017
15	5,95	64,6	0,49	0,000021

Приклад розрахунку

Для складання проектного завдання на гідротехнічну споруду потрібно розрахувати транспортувальну здатність потоку. Середня глибина потоку на ділянці 5,83 м, середня швидкість – 0,57 м/с, уклон водної поверхні $I=0,000065$, середня крупність частинок $d_{сер}=0,06$ мм, гідравлічна крупність 0,0033 м/с.

Схема розрахунку

1. Для наносів з гідравлічною крупністю від 0,002 м/с до 0,008 м/с використовуємо формулу Є.А.Замаріна (3.1):

$$S_{сер} = 0,022 \left(\frac{0,57}{0,033} \right)^{3/2} \sqrt{5,83 \cdot 0,000065} = 0,972 \text{ кг/м}^3$$

2. Визначимо величину транспортувальної здатності потоку за формулою А.В. Караушева (3.3):

а) розрахуємо коефіцієнт шорсткості русла:

$$n = \frac{5,83^{2/3} \cdot 0,000065^{1/2}}{0,57} = 0,046.$$

б) визначимо коефіцієнт Шезі C за формулою Маннінга:

$$C = \frac{1}{0,046} \cdot 5,83^{1/6} = 29,2$$

в) при умові $10 \leq C \leq 60$ використовуємо параметр M вигляді $M=0,7C + 6$ та розрахуємо параметр N :

$$N = \frac{(0,7 \cdot 29,2 + 6) \cdot 29,2}{9,81} = 78,7.$$

г) за формулою (3.3) визначаємо $S_{\text{сеп}}$:

$$S_{\text{сеп}} = 0,36 \frac{78,7 \cdot 0,57^2}{5,83} \left(\frac{0,57}{0,0033} \right)^{0,75} \cdot 10^{-3} = 75,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$$

3. Величину граничного насичення потоку наносами визначаємо за формулою К.І. Россінського(3.5):

$$S_{\text{сеп}} = 0,024 \frac{0,57^3}{5,83 \cdot 0,0033} = 0,23 \text{ кг/м}^3.$$

4. Розрахуємо транспортувальну здатність потоку за залежністю К.В. Гришаніна (3.6):

а) розрахуємо динамічну швидкість:

$$v_* = \sqrt{9,81 \cdot 5,83 \cdot 0,000065} = 0,061 \text{ м/с};$$

б) визначимо транспортувальну здатність потоку:

$$S_{\text{сеп}} = \frac{0,57^2}{9,81 \cdot 5,83} \cdot \frac{0,061}{0,0033} \cdot \frac{29,2}{\sqrt{9,81}} = 0,979 \text{ кг/м}^3.$$

Результати розрахунків заносяться у таблицю 3.1.

РОЗРАХУНОК ДЕФОРМАЦІЇ ДНА РУСЛА

Деформації русел, які відбуваються природним шляхом, розділяють на оборотні та необоротні (знакозмінні). До необоротних відносяться такі явища, як ерозійне вривання русла у підстилаючі породи або його поперечне переміщення під дією прискорення Коріоліса.

Крім необоротності, для цих явищ характерно те, що вони розвиваються у геологічних масштабах часу і охоплюють по довжині або усе русло річки, або його протяжні ділянки.

Більшість природних деформацій відноситься до знаковзмінних. Явища наміву та розмиву дна чергуються по довжині річки, а на певній ділянці вони чергуються у часі. Знакозмінні деформації дозволяють руслу зберігати статистичну сталість.

Сучасні методи динаміки руслових потоків дають можливість одержати як якісний прогноз деформацій, так і приблизну кількісну їх оцінку.

Загальні положення

Зміна морфологічної побудови річкового русла та заплави, яка постійно відбувається під дією текучої води, називається русловим процесом. Процеси взаємодії потоку та русла обумовлюють зміни форми та розмірів русла, вривання та підняття внаслідок замулення. Головною характеристикою руслового процесу є загальна спрямованість деформацій: розмиви, замулення, динамічно сталий стан русла.

Розрахунок односторонніх деформацій (загальних розмивів або замулень) здійснюється за допомогою методів гідравліки або методів лабораторного моделювання. Гідравлічний розрахунок деформацій русла містить у собі комплекс обчислювань, які ґрунтуються на:

- 1) на використанні рівняння балансу наносів (рівняння деформації русла);
- 2) на вживанні гідравлічних залежностей;
- 3) на використанні співвідношень, які визначають транспорт наносів.

Відомо, що деформація русла виникає внаслідок нерівності між кількістю наносів, які надходять на певну ділянку річки, і їх кількістю на ділянці, що розташована нижче. При цьому, коли швидкості збільшуються уздовж потоку, то відбувається розмив русла, а коли швидкості зменшуються, то спостерігається намів або замулення русла. Таким чином, рівняння деформації русла можна одержати способом складення балансу на ділянці річки і в цьому значенні воно аналогічно гідравлічному рівнянню

нерозривності. Виходячи з цього, рівняння деформації можна записати у вигляді

$$\gamma A f(U) \frac{dU}{dS} q = -\gamma' \frac{dz_0}{dt}, \quad (4.1)$$

де γ та γ' - об'ємна вага води та наносів відповідно;

q - витрата води на одиницю ширини русла;

U - швидкість потоку;

z_0 - відмітка дна русла.

$$A = \frac{c}{\omega_0^4} \left(\frac{d}{h} \right)^{1/6}, \quad (4.2)$$

де ω_0 - гідравлічна крупність;

d - діаметр частинок;

h - глибина потоку;

c - коефіцієнт (за дослідженням Кнороза $C=0,006$).

Рівняння (4.1) може бути застосовано як до завислих, так і до тягнених наносів. Вид функції $f(U)$ та значення коефіцієнта A визначаються умовами транспортування наносів.

Підставивши значення $\frac{dU}{dS}$ та $f(U)$ і виконавши деякі перетворення, одержуємо рівняння деформації у вигляді

$$\frac{\gamma'}{\gamma} \frac{dz_0}{dt} b = -4AU^4 \left(\frac{1}{b} \frac{db}{dS} + \frac{1}{h} \frac{dh}{dS} \right) Q \quad (4.3)$$

або з урахуванням того, що $Q = q * b$

$$\frac{dz_0}{dt} = -4AU^3 \frac{\gamma'}{\gamma} \frac{dU}{dS} q \quad (4.4)$$

Подібний вигляд мають рівняння деформації, одержані рядом авторів, серед яких Екснер, І.І. Леві, М.М. Бернадський, В.В. Дементьєв.

4.1 Розрахунок деформації дна методом Караушева-Макавеєва

При наявності даних про мутність потоку розрахунок деформації русла можна здійснювати методом Караушева-Макавеєва. В основі методу лежить вираження результуючої вертикальної секундної витрати наносів через одиницю поверхні русла, одержане внаслідок досліджень умов зважування та осаджування наносів у придонному шарі

$$q_{SH} = \frac{V'}{2} (S_H - \hat{O} S_{\acute{a}ci}) (1 + \varepsilon), \quad (4.5)$$

де V' - середнє значення абсолютної величини вертикальної складової пульсаційної швидкості;

\hat{O} - функція безрозмірної величини ε ;

S_H - загальна донна мутність.

Як спрощення приймають те, що наноси є однорідними за гранулометричним складом. Тоді величини, які входять до формули (4.5), будуть визначатись такими співвідношеннями.

Безрозмірний параметр ε знаходиться за середнім значенням гідравлічної крупності наносів ω

$$\varepsilon = \frac{\omega}{v'} \quad (4.6)$$

Функція Φ визначається за таблицею (додаток Л).

Вертикальну складову пульсаційної швидкості біля дна визначаються за формулою

$$V' = \frac{V_{cp}}{\sqrt{N}}, \quad (4.7)$$

де V_{cp} - середня швидкість потоку;

N - безрозмірна величина, яка визначається за формулою

$$N = \frac{MC}{g}, \quad (4.8)$$

де C - коефіцієнт Шезі, який знаходиться за формулою Маннінга

$$C = \frac{1}{n} h^{1/6}, \quad (4.9)$$

h - глибина потоку;

n - коефіцієнт шорсткості русла

$$n = \frac{h^{2/3} I^{1/2}}{V_{cp}}, \quad (4.10)$$

де I - поздовжній ухил водної поверхні.

Величина M при $10 \leq C \leq 60$ знаходяться за формулою

$$M = 0,7C + 6,$$

а при $C > 60$

$$M = 48 = const$$

Обробка великої кількості натурних та експериментальних даних дала можливість А.В. Карашеву одержати наближену формулу для розрахунку мутності взмиву

$$S_{взм} = 0,00057N \frac{V_H^2}{h}, \quad (4.11)$$

де V_H - поздовжня складова швидкості біля дна

$$V_H = V_{cp} \sqrt{\frac{0,53C - 4,1}{C - 2}} \quad (4.12)$$

При розрахунку деформації русла слід мати на увазі, що $S_{взм}$ не може бути менше за S_H . Якщо обчислена за формулою $S_{взм}$ виявляється меншою за S_H , то необхідно прийняти $S_{взм} \approx S_H$.

У наведених відношеннях донна мутність вимірюється у відносних об'ємних одиницях, тобто виражає відношення об'єму завислих наносів до об'єму суміші води з наносами, які містяться в ньому

$$|S| = \frac{m^3(\text{твердої речовини})}{m^3(\text{суспензії})}$$

При такій розмірності мутності секундна витрата наносів через одиницю поверхні дна потоку виражається в об'ємних одиницях.

$$|q_{SH}| = \frac{m^3(\text{твердої речовини})}{m^2 * c} = \frac{m}{c}$$

Таким чином, одержуємо розмірність швидкості, а q_{SH} будемо називати умовною швидкістю деформації.

Результуюча вертикальна витрата наносів визначає деформацію русла. Позитивна витрата $+q_{SH}$ спрямована донизу, а негативна $-q_{SH}$ - догори, тому при $q_{SH} > 0$ має місце замулення, а при $q_{SH} < 0$ – розмив русла. При $q_{SH} = 0$ русло динамічно стає.

Для визначення фактичних розмірів намивів та розмивів за секунду необхідно ураховувати пористість ґрунту Δ , яка показує об'єм пор у одиниці об'єму ґрунту.

Прирощення висоти дна Δh за деякий інтервал часу Δt виражається співвідношенням

$$\Delta h = \frac{q_{SH} * \Delta t}{1 - \Delta}, \text{ м} \quad (4.13)$$

де різниця $1 - \Delta$ визначає об'єм твердих частинок у одиниці об'єму ґрунту. Звичайно пористість ґрунту характеризується значенням $\Delta = 0,3 + 0,5$.

Деформації Δh спричиняють до зміни глибини потоку, при цьому при розмиві Δh негативне. Зі зміною глибини змінюється гідравліка потоку, тому розрахунковий інтервал часу Δt повинен задаватись малим з тим, щоб обчислені значення Δh ніде не були більшими за $1/4 \div 1/6$ від первісного значення.

Формули (4.5) та (4.15) дозволяють обчислити деформації русла на будь-якій вертикалі, коли відомі глибина h , швидкість течії V , середня крупність фракцій донних відкладень, що зважуються, і донна мутність.

Викладений метод розрахунку деформації відзначається наочністю, бо дозволяє визначити зони місцевого розмиву та намиву в межах ділянки ріки, що розглядається. Недоліком методу є необхідність використання докладних планів полів донної мутності, дані про які дуже обмежені. Крім того, внаслідок значної мінливості S_H швидко застарівають.

Завдання

Розрахувати деформацію дна русла методом Караушева-Макавєєва (задачі 4.1 та 4.2).

Проаналізувати одержані результати.

Задача 4.1. Дана ділянка перекату на річці. Пористість наносів складає 0,35. Визначити деформацію дна русла за дві доби. Вихідні дані наведені у додатку Ж.

Виявити вплив донної мутності на величину деформації, для чого визначити деформацію за цими ж даними при різних значеннях донної мутності (додаток М).

Задача 4.2. Визначити швидкість розмиву та намиву на окремих вертикалях, коли середня пористість донних відкладень дорівнює $\Delta=0,40$. На плані схематично показати зони намиву та розмиву. Вихідні дані наведені у додатку Н.

Приклад розрахунку

Визначити деформацію дна русла на ділянці перекату за дві доби методом Караушева-Макавєєва.

Дано: глибина потоку $h=3,0$ м., середня швидкість $V_{cp}=0,42$ м/с, середній діаметр частинок $d=0,21$ мм, ухил водної поверхні $I=0,000180$, донна мутність $S_H=0,000030$ м³/м³, пористість наносів $\Delta=0,35$.

Порядок розрахунку

1. Використовуючи вираз (4.10), визначаємо жорсткість русла

$$n = \frac{3,0^{2/3} \times 0,000180^{1/2}}{0,42} = 0,066$$

2. Коефіцієнт Шезі знаходимо за формулою Манінга (4.9)

$$C = \frac{1}{0,066} \times 3,0^{1/6} = 18,2$$

3. Визначаємо число M , як

$$M = 0,7 \times 18,2 + 6 = 18,7$$

4. Параметр Караушева N знаходимо за виразом (4.8)

$$N = \frac{18,2 \times 18,7}{9,81} = 34,7$$

5. Вертикальна складова пульсаційної швидкості біля дна дорівнює (4.7)

$$V' = \frac{0,42}{\sqrt{34,7}} = 0,071 \text{ м/с}$$

6. Приймаючи температуру води у інтервалі від 17° до 20°C, по значенню середнього діаметра $d=0,21$ мм за додатком Д знаходимо гідрравлічну крупність наносів $\omega=0,0207$ м/с.

7. Безрозмірний параметр ε (4.6)

$$\varepsilon = \frac{0,0207}{0,071} = 0,29$$

8. Згідно додатка Л значення функції \hat{O} при $\varepsilon = 0,29$ дорівнює 0,560.

9. Обчислюємо поздовжню складову швидкість біля дна (4.12)

$$V_H = 0,42 \times \sqrt{\frac{0,53 \times 18,2 - 4,1}{18,2 - 2}} = 0,24 \text{ м/с}$$

10. Визначаємо мутність взмиву (4.11)

$$S_{взм} = 0,00057 \times 34,7 \times \frac{0,24^2}{3,0} = 0,000040 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

11. Знаходимо швидкість деформації (4.5)

$$q_{SH} = \frac{0,071}{2} (0,000030 - 0,560 \times 0,000040) \times (1 + 0,29) = 0,000000348 \text{ м/с}$$

12. Прирошення висоти дна, яке визначається за виразом (4.13) за дві доби буде складати

$$\Delta h = \frac{0,000000348 \times 86400 \times 2}{1 - 0,35} = 0,092 \text{ м}$$

Знак «+» показує, що на ділянці річки відбувається намів русла.

Розглядаємо який вплив має величина донної мутності на деформацію. З цією метою обчислюємо швидкість деформації для цих же даних, але коли донна мутність складає

1) $S_H = 0,000042 \text{ м}^3 / \text{м}^3$;

2) $S_H = 0,000060 \text{ м}^3 / \text{м}^3$.

1. $q_S = \frac{0,071}{2} \times (0,000030 - 0,560 \times 0,000042) \times (1 + 0,29) = 0,000000297 \text{ м/с}$

$$\Delta h = \frac{0,000000297 \times 86400 \times 2}{1 - 0,35} = 0,079 \text{ м}$$

2. $q_S = \frac{0,071}{2} \times (0,000030 - 0,560 \times 0,000060) \times (1 + 0,29) = -0,000000165 \text{ м/с}$

$$\Delta h = \frac{-0,000000165 \times 86400 \times 2}{1 - 0,35} = -0,044 \text{ м}$$

Аналіз результатів показує, що при зростанні донної мутності відбувається зменшення величини наміву, а при її подальшому збільшенні змінюється направленість деформації, тобто на ділянці русла спостерігається розмив дна.

Література

1. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. –Л.: Гидрометеоздат, 1979, -312 с.
2. Караушев А.В. Речная гидравлика. –Л.: Гидрометеоздат, 1960, -415 с.
3. Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов.–Л.: Гидрометеоздат, 1977, -270 с.

ДОДАТКИ

Додаток А – Вихідні дані до практичної роботи 1 (задача 1.1)

Номер варіанту	Ділянка з рівним дном				Русловий кар`єр			
	<i>h</i> , м	<i>Z</i> , м	<i>u</i> , м/с	<i>I</i>	<i>h</i> , м	<i>Z</i> , м	<i>u</i> , м/с	<i>I</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3,67	3,47	68,7	0,000042	8,61	8,41	70,6	0,000018
		2,94	64,6			6,90	53,1	
		1,47	62,6			3,24	52,8	
		0,73	51,6			1,72	37,2	
		0,20	44,4			0,20	39,5	
2	3,83	3,63	71,6	0,000088	6,80	6,60	57,0	0,000019
		3,06	73,4			5,36	44,6	
		1,53	62,6			2,68	43,9	
		0,77	49,9			1,34	34,1	
		0,15	40,9			0,20	29,0	
3	6,50	6,30	73,7	0,000052	8,10	7,90	20,2	0,000018
		5,20	65,8			6,48	24,7	
		2,60	46,5			3,24	36,7	
		1,30	42,8			1,62	31,5	
		0,05	31,9			0,20	24,2	
4	6,97	6,77	75,0	0,000040	8,32	8,12	62,8	0,000016
		5,58	72,9			6,65	44,8	
		2,79	71,2			3,32	58,8	
		1,39	52,4			1,67	46,2	
		0,20	42,8			0,20	36,0	
5	5,56	5,46	58,0	0,000019	7,45	7,25	48,7	0,000017
		4,45	56,5			5,96	56,7	
		2,20	49,8			2,98	71,3	
		1,11	46,0			1,49	58,0	
		0,20	38,0			0,20	51,5	
6	5,76	5,66	56,2	0,000024	7,18	7,00	45,7	0,000060
		4,61	61,7			3,00	46,7	
		2,30	50,3			1,50	38,6	
		1,15	46,8			1,00	41,7	
		0,10	38,0			0,50	35,2	
7	6,16	5,94	73,0	0,000052	13,0	12,0	23,8	0,000045
		4,93	77,0			10,4	23,6	
		2,46	70,0			5,20	31,3	
		1,22	68,0			2,60	20,9	
		0,20	45,0			0,25	16,4	
8	5,40	5,30	48,0	0,000039	8,96	8,86	27,9	0,000043
		4,72	46,0			6,76	32,3	
		2,36	39,0			3,38	26,1	
		1,19	36,0			1,69	26,1	
		0,20	29,0			0,25	27,1	
9	3,45	2,75	87,0	0,000035	14,6	14,1	41,4	0,000050
		2,06	84,0			11,8	33,7	
		1,36	79,0			5,92	36,7	
		0,67	71,0			2,96	34,2	

		0,10	49,0			0,25	38,4	
10	5,82	5,72	54,0	0,000016	7,38	7,08	76,0	0,000021
		4,65	54,0			5,90	74,0	
		2,33	48,0			2,95	39,0	
		1,16	44,0			1,50	27,0	
		0,10	34,0			0,15	24,0	
11	2,98	2,78	53,0	0,000035	8,68	8,38	63,0	0,000019
		2,42	54,0			6,94	77,0	
		1,25	47,0			3,47	63,0	
		0,68	40,0			1,74	58,0	
		0,20	34,0			0,20	10,0	
12	605	5,95	56,0	0,000040	7,45	7,25	65,0	0,000024
		4,84	55,0			5,96	81,0	
		2,42	49,0			3,08	66,0	
		1,21	42,0			1,49	58,0	
		0,10	28,0			0,20	51,0	
13	2,80	2,60	47,0	0,000039	6,63	6,33	53,0	0,000018
		2,24	42,0			5,30	57,0	
		1,12	37,0			2,65	56,0	
		0,56	31,0			1,33	53,0	
		0,20	25,0			0,20	50,0	
14	5,40	5,30	48,0	0,000038	8,61	8,41	55,0	0,000029
		4,72	46,0			6,89	51,0	
		2,36	39,0			3,44	50,0	
		1,19	36,0			1,72	38,0	
		0,20	29,0			0,20	31,0	
15	3,50	3,30	64,4	0,000020	6,80	6,60	57,0	0,000019
		4,45	56,5			5,96	56,7	
		2,20	49,8			2,98	71,3	
		1,11	46,0			1,49	58,0	
		0,20	38,0			0,20	51,5	

Додаток Б – Вихідні дані до практичної роботи 1(задача 1.2)

Номер варіанту	Глибина потоку		Діаметр	Ухил поверхні води
	h_1 , м	h_2 , м	d_5 , мм	I
1	1,01	2,55	32,5	0,0005
2	1,00	2,53	35,5	0,0005
3	1,03	2,52	35,2	0,0005
4	1,02	2,50	35,4	0,0005
5	1,05	2,57	35,0	0,0004
6	1,07	2,59	35,1	0,0004
7	1,01	2,51	35,3	0,0004
8	1,04	2,54	36,6	0,0006
9	1,09	2,09	35,9	0,0006
10	1,5	3,00	40,0	0,0003
11	1,11	2,60	41,0	0,0003

12	1,08	2,68	37,0	0,0006
13	1,12	2,70	37,6	0,0004
14	1,15	2,75	37,2	0,0006
15	1,17	2,80	39,0	0,0007

Додаток В – Вихідні дані до практичної роботи 2(задачі 2.1 і 2.2)

Номер варіанту	Глибина потoku	Середня швидкість	Діаметр наносів		
	h , м	U , м/с	d_{cp} , мм	d_5 , мм	d_{10} , мм
1	2,0	0,58	1,25	10,0	6,70
2	1,62	0,50	0,15	0,30	0,26
3	2,51	0,62	1,18	10,0	6,40
4	2,86	0,63	0,06	0,18	0,15
5	2,96	0,76	0,17	0,38	0,30
6	2,12	0,64	0,29	0,70	0,54
7	2,55	0,69	0,48	0,70	0,61
8	2,44	0,38	0,10	0,34	0,29
9	3,00	0,45	0,21	0,40	0,36
10	2,30	0,38	0,09	0,32	0,24
11	3,24	0,40	0,14	0,33	0,27
12	2,22	0,38	0,18	0,33	0,30
13	2,10	0,32	0,13	0,24	0,21
14	3,71	0,39	0,11	0,28	0,20
15	1,88	0,56	0,20	0,38	0,34

Додаток К

α	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
φ	6,50	3,14	2,05	1,64	1,38	1,23	1,16	1,11	1,06	1,03	1,0

Додаток Д – Значення гідравлічної крупності частинок за дослідними даними
В.В. Архангельського, А.П. Зегжди, Г.Н. Лапшина, В.В. Романовського

Діаметр частини, d , мм	Гідравлічна крупність ω , м/с, за температури, °С			
	5...8	9...12	13...16	17...20
Ламінарна та перехідна області				
0,005	0,0000105	0,0000125	0,0000140	0,0000165
0,0075	0,0000237	0,0000277	0,0000316	0,0000362
0,010	0,0000420	0,0000490	0,0000560	0,0000630
0,015	0,0000960	0,000111	0,000128	0,000144
0,020	0,000167	0,000193	0,000222	0,000250
0,025	0,000265	0,000315	0,000363	0,000414
0,030	0,000400	0,000468	0,000536	0,000610
0,040	0,000716	0,000832	0,000946	0,00108
0,050	0,00107	0,00125	0,00141	0,00161
0,075	0,00250	0,00308	0,00350	0,00420
0,10	0,00410	0,00500	0,00575	0,00640
0,15	0,0078	0,0082	0,0105	0,0102
0,20	0,0131	0,0150	0,0175	0,0192

0,30	0,0250	0,0277	0,0317	0,0345
0,40	0,0370	0,0405	0,0446	0,0485
0,50	0,0480	0,0528	0,0568	0,0608
0,60	0,0598	0,0642	0,0682	0,0720
0,70	0,0710	0,0755	0,0800	0,0840
0,80	0,0815	0,0862	0,0908	0,0954
0,90	0,0912	0,0963	0,1012	0,1063
1,00	0,100	0,106	0,111	0,117

Додаток Л – Таблиця функції $\Phi(\varepsilon)$

ε	Φ	ε	Φ	ε	Φ
0,0001	1,000	0,15	0,730	1,12	0,106
0,0005	1,000	0,20	0,658	1,40	0,062
0,002	0,996	0,27	0,580	1,65	0,035
0,02	0,960	0,34	0,510	1,95	0,017
0,05	0,902	0,40	0,456	2,40	0,008
0,08	0,848	0,65	0,274	2,90	0,006
0,10	0,812	1,00	0,144	3,00	0,000

Додаток Ж – Вихідні дані до задачі 1

Номер варіанта	Глибина $h, \text{м}$	Середня швидкість $V_{cp}, \text{м/с}$	Середній діаметр частинок $d, \text{мм}$	Ухил водної поверхні I	Донна мутність $\text{м}^3/\text{м}^3$
1	3,05	0,45	0,22	0,000185	0,000035
2	3,10	0,47	0,23	0,000190	0,000038
3	3,15	0,50	0,25	0,000195	0,000040
4	3,20	0,52	0,26	0,000200	0,000045
5	3,25	0,55	0,27	0,000205	0,000050
6	3,30	0,57	0,28	0,000210	0,000055
7	3,35	0,60	0,27	0,000215	0,000058
8	3,40	0,62	0,26	0,000220	0,000060
9	3,45	0,65	0,28	0,000225	0,000063
10	3,60	0,59	0,27	0,000210	0,000056
11	3,65	0,49	0,25	0,000200	0,000040
12	3,75	0,51	0,24	0,000205	0,000041
13	3,80	0,48	0,23	0,000195	0,000048
14	3,85	0,57	0,26	0,000212	0,000055
15	3,90	0,61	0,27	0,000216	0,000057

Додаток М – Вихідні дані до задачі 4.1

Номер варіанта	Донна мутність, $\text{м}^3/\text{м}^3$	
	1	2
1	0,000080	0,000085
2	0,000076	0,000080
3	0,000060	0,000068
4	0,000075	0,000090
5	0,000058	0,000110
6	0,000062	0,000120

7	0,000075	0,000116
8	0,000070	0,000122
9	0,000073	0,000126
10	0,000065	0,000105
11	0,000055	0,000080
12	0,000060	0,000098
13	0,000072	0,000110
14	0,000068	0,000115
15	0,000082	0,000110

Додаток Н – Вихідні дані до задачі 4.2

Номер створу	Номер вертикалі	Глибина $h, м$	Швидкість течії, м/с		Донна мутність S_n	Середня гідравлічна крупність, $\omega, м/с$	Ухил I
			середня	донна			
1	2	3	4	5	6	7	8
Варіант № 1							
I	1	1,15	0,25	0,18	0,000012	0,048	0,000150
	2	2,45	0,38	0,30	0,000022	0,048	
	3	3,60	0,61	0,50	0,000026	0,048	
	4	5,80	0,85	0,67	0,000030	0,048	
	5	3,40	0,41	0,29	0,000018	0,048	
II	1	1,22	0,23	0,16	0,000012	0,045	0,000150
	2	2,38	0,31	0,25	0,000021	0,045	
	3	3,45	0,60	0,49	0,000028	0,045	
	4	5,46	0,80	0,60	0,000028	0,045	
	5	2,95	0,36	0,25	0,000017	0,045	
III	1	1,12	0,22	0,15	0,000011	0,046	0,000150
	2	2,40	0,33	0,27	0,000022	0,046	
	3	3,26	0,59	0,48	0,000028	0,046	
	4	5,63	0,82	0,65	0,000029	0,046	
	5	3,05	0,39	0,27	0,000018	0,046	
Варіант № 2							
I	1	2,10	0,21	0,18	0,000020	0,0512	0,000155
	2	3,75	0,29	0,25	0,000024	0,0512	
	3	5,00	0,54	0,41	0,000035	0,0512	
	4	3,81	0,36	0,29	0,000027	0,0512	
	5	1,46	0,18	0,15	0,000015	0,0512	
II	1	2,13	0,23	0,20	0,000021	0,051	0,000155
	2	3,52	0,28	0,25	0,000029	0,051	
	3	4,82	0,57	0,46	0,000037	0,051	
	4	3,69	0,33	0,30	0,000031	0,051	
	5	1,34	0,19	0,16	0,000017	0,051	
III	1	2,15	0,22	0,20	0,000021	0,048	0,000155
	2	3,58	0,30	0,25	0,000029	0,048	
	3	4,93	0,56	0,43	0,000036	0,048	
	4	3,70	0,34	0,29	0,000027	0,048	
	5	1,30	0,18	0,15	0,000015	0,048	

Вариант № 3							
I	1	2,51	0,61	0,55	0,000031	0,056	0,000160
	2	5,00	0,95	0,81	0,000038	0,056	
	3	3,45	0,53	0,44	0,000027	0,056	
	4	1,96	0,36	0,29	0,000021	0,056	
	5	0,87	0,27	0,21	0,000019	0,056	
II	1	2,48	0,62	0,58	0,000038	0,057	0,000160
	2	4,95	0,96	0,87	0,000040	0,057	
	3	3,37	0,55	0,49	0,000034	0,057	
	4	1,95	0,41	0,34	0,000031	0,057	
	5	0,85	0,30	0,27	0,000025	0,057	
III	1	2,45	0,65	0,61	0,000040	0,058	0,000160
	2	4,90	0,97	0,88	0,000041	0,058	
	3	3,30	0,58	0,51	0,000036	0,058	
	4	1,90	0,43	0,37	0,000033	0,058	
	5	0,80	0,31	0,28	0,000021	0,058	
Вариант № 4							
I	1	0,95	0,35	0,30	0,000023	0,059	0,000165
	2	3,50	0,60	0,51	0,000036	0,059	
	3	5,10	1,00	0,90	0,000040	0,059	
	4	4,20	0,58	0,49	0,000030	0,059	
	5	1,25	0,29	0,23	0,000020	0,059	
II	1	0,92	0,31	0,29	0,000027	0,054	0,000165
	2	3,45	0,57	0,51	0,000030	0,054	
	3	5,05	0,96	0,87	0,000031	0,054	
	4	4,10	0,54	0,47	0,000026	0,054	
	5	1,20	0,25	0,20	0,000017	0,054	
III	1	0,93	0,32	0,30	0,000024	0,054	0,000165
	2	3,43	0,58	0,52	0,000028	0,054	
	3	5,06	0,97	0,85	0,000030	0,054	
	4	4,12	0,55	0,48	0,000024	0,054	
	5	1,22	0,26	0,21	0,000019	0,054	
Вариант № 5							
I	1	1,15	0,63	0,58	0,000031	0,054	0,000170
	2	4,82	1,05	0,97	0,000045	0,054	
	3	2,56	1,15	0,99	0,000045	0,054	
	4	3,94	0,81	0,76	0,000030	0,054	
	5	1,36	0,34	0,25	0,000025	0,054	
II	1	1,13	0,64	0,59	0,000032	0,054	0,000170
	2	4,80	1,06	0,98	0,000046	0,054	
	3	2,55	1,17	1,00	0,000046	0,054	
	4	3,90	0,83	0,77	0,000031	0,054	
	5	1,30	0,35	0,26	0,000026	0,054	
III	1	1,14	0,64	0,60	0,000032	0,054	0,000170
	2	4,81	1,06	0,98	0,000045	0,054	
	3	2,55	1,16	1,00	0,000046	0,054	
	4	3,92	0,82	0,78	0,000030	0,054	

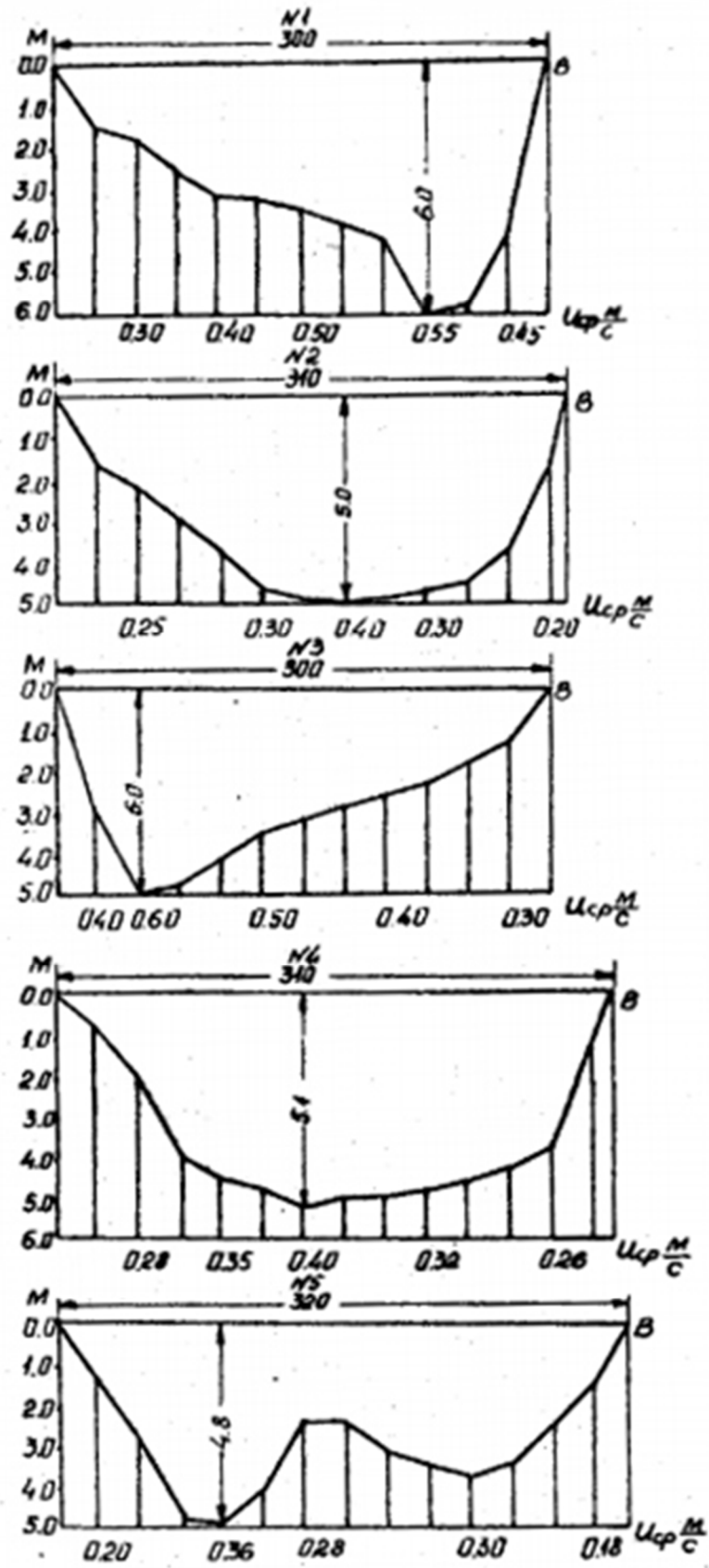
	5	1,34	0,34	0,26	0,000026	0,054	
Варіант № 6							
I	1	2,15	0,43	0,38	0,000025	0,055	0,000175
	2	3,45	0,86	0,70	0,000042	0,055	
	3	5,00	1,10	0,95	0,000050	0,055	
	4	3,05	0,76	0,68	0,000036	0,055	
	5	1,45	0,37	0,29	0,000021	0,055	
II	1	2,15	0,41	0,37	0,000025	0,055	0,000175
	2	3,47	0,85	0,70	0,000041	0,055	
	3	4,98	1,06	0,94	0,000051	0,055	
	4	3,00	0,75	0,67	0,000035	0,055	
	5	1,36	0,35	0,25	0,000020	0,055	
III	1	2,14	0,39	0,32	0,000021	0,055	0,000175
	2	3,45	0,82	0,67	0,000031	0,055	
	3	5,01	1,03	0,91	0,000049	0,055	
	4	3,06	0,77	0,60	0,000030	0,055	
	5	1,27	0,30	0,24	0,000019	0,055	
Варіант № 7							
I	1	1,85	0,54	0,50	0,000039	0,058	0,000180
	2	4,00	1,15	1,05	0,000055	0,058	
	3	1,95	0,96	0,87	0,000047	0,058	
	4	1,65	0,76	0,67	0,000038	0,058	
	5	1,35	0,47	0,36	0,000024	0,058	
II	1	1,82	0,47	0,39	0,000038	0,058	0,000180
	2	3,93	1,00	0,87	0,000054	0,058	
	3	1,62	0,76	0,67	0,000046	0,058	
	4	1,47	0,63	0,47	0,000037	0,058	
	5	1,15	0,29	0,20	0,000023	0,058	
III	1	1,80	0,45	0,40	0,000037	0,058	0,000180
	2	3,92	0,98	0,91	0,000053	0,058	
	3	1,73	0,80	0,71	0,000045	0,058	
	4	1,54	0,71	0,63	0,000036	0,058	
	5	1,20	0,31	0,27	0,000021	0,058	
Варіант № 8							
I	1	1,75	0,46	0,40	0,000042	0,059	0,000185
	2	3,45	0,83	0,72	0,000051	0,059	
	3	3,80	1,20	1,00	0,000058	0,059	
	4	2,54	0,91	0,79	0,000053	0,059	
	5	1,23	0,31	0,25	0,000036	0,059	
II	1	1,70	0,45	0,40	0,000041	0,059	0,000185
	2	3,40	0,80	0,70	0,000049	0,059	
	3	3,75	1,15	0,97	0,000056	0,059	
	4	2,50	0,90	0,79	0,000052	0,059	
	5	1,20	0,30	0,25	0,000036	0,059	
III	1	1,72	0,44	0,38	0,000040	0,059	0,000185
	2	3,43	0,79	0,68	0,000048	0,059	
	3	3,78	1,14	0,9	0,000056	0,059	
	4	2,52	0,91	0,79	0,000051	0,059	

	5	1,21	0,29	0,25	0,000036	0,059	
Варіант № 9							
I	1	1,25	0,79	0,70	0,000041	0,060	0,000190
	2	4,00	1,25	1,10	0,000060	0,060	
	3	1,65	1,05	0,95	0,000052	0,060	
	4	2,48	0,85	0,70	0,000040	0,060	
	5	0,76	0,39	0,29	0,000021	0,060	
II	1	1,26	0,78	0,69	0,000039	0,060	0,000190
	2	4,02	1,23	1,08	0,000058	0,060	
	3	1,67	1,00	0,93	0,000050	0,060	
	4	2,50	0,81	0,68	0,000037	0,060	
	5	0,80	0,35	0,30	0,000022	0,060	
III	1	1,28	0,75	0,65	0,000037	0,060	0,000190
	2	4,05	1,20	1,00	0,000055	0,060	
	3	1,69	0,95	0,84	0,000048	0,060	
	4	2,55	0,78	0,60	0,000031	0,060	
	5	0,83	0,30	0,24	0,000021	0,060	
Варіант № 10							
I	1	0,95	0,51	0,45	0,000048	0,061	0,000195
	2	2,76	0,76	0,68	0,000051	0,061	
	3	3,25	1,10	1,00	0,000059	0,061	
	4	3,90	1,30	1,15	0,000063	0,061	
	5	1,05	0,72	0,63	0,000031	0,061	
II	1	0,97	0,49	0,40	0,000045	0,061	0,000195
	2	2,79	0,74	0,64	0,000050	0,061	
	3	3,27	1,08	0,98	0,000057	0,061	
	4	3,92	1,27	1,12	0,000060	0,061	
	5	1,04	0,69	0,50	0,000025	0,061	
III	1	0,96	0,39	0,30	0,000031	0,061	0,000195
	2	2,80	0,70	0,61	0,000048	0,061	
	3	3,26	1,05	0,96	0,000055	0,061	
	4	3,98	1,25	1,10	0,000058	0,061	
	5	1,06	0,63	0,43	0,000020	0,061	
Варіант № 11							
I	1	0,45	0,36	0,29	0,000029	0,059	0,000200
	2	1,15	0,87	0,77	0,000041	0,059	
	3	1,25	1,05	0,93	0,000050	0,059	
	4	3,60	1,20	1,08	0,000058	0,059	
	5	0,95	0,78	0,63	0,000032	0,059	
II	1	0,50	0,34	0,26	0,000025	0,059	0,000200
	2	1,17	0,85	0,79	0,000042	0,059	
	3	1,28	1,06	0,93	0,000050	0,059	
	4	3,58	1,21	1,11	0,000060	0,059	
	5	0,97	0,75	0,65	0,000033	0,059	
III	1	0,48	0,35	0,26	0,000025	0,059	0,000200
	2	1,16	0,84	0,74	0,000038	0,059	
	3	1,27	1,06	1,00	0,000053	0,059	
	4	3,59	1,20	1,06	0,000057	0,059	

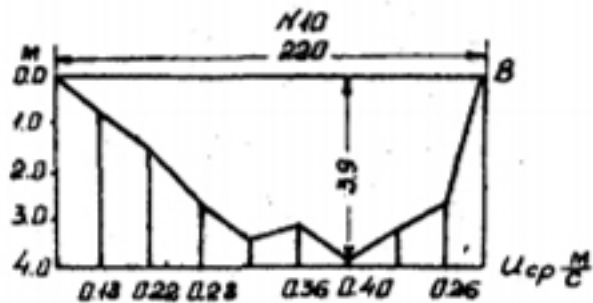
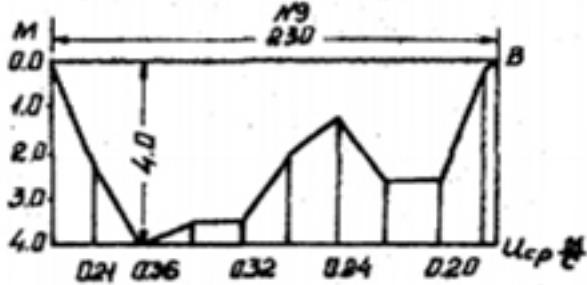
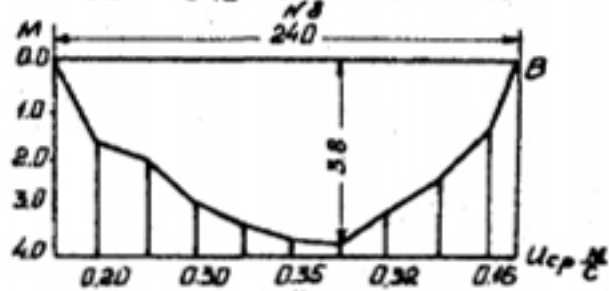
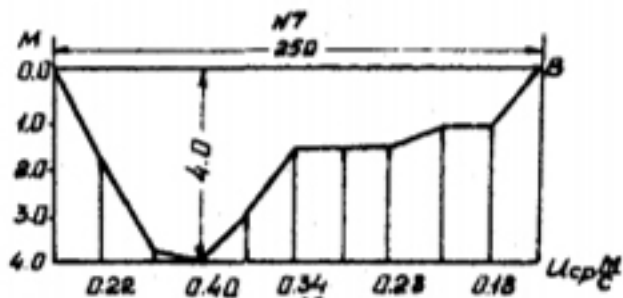
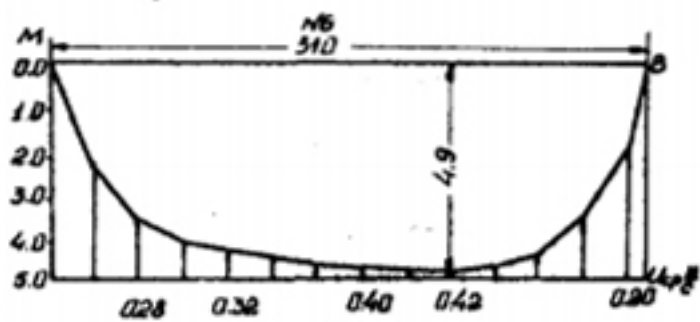
	5	0,96	0,76	0,66	0,000033	0,059	
Варіант № 12							
I	1	0,78	0,43	0,37	0,000024	0,055	0,000205
	2	1,95	0,89	0,79	0,000039	0,055	
	3	3,50	1,15	0,98	0,000055	0,055	
	4	2,00	0,78	0,68	0,000035	0,055	
	5	0,69	0,51	0,41	0,000027	0,055	
II	1	0,75	0,45	0,38	0,000024	0,055	0,000205
	2	1,93	0,90	0,80	0,000040	0,055	
	3	3,48	1,16	0,99	0,000056	0,055	
	4	1,97	0,80	0,70	0,000037	0,055	
	5	0,70	0,51	0,41	0,000027	0,055	
III	1	0,76	0,45	0,38	0,000024	0,055	0,000205
	2	1,94	0,91	0,80	0,000040	0,055	
	3	3,50	1,14	0,95	0,000054	0,055	
	4	1,99	0,78	0,69	0,000036	0,055	
	5	0,65	0,56	0,43	0,000028	0,055	
Варіант № 13							
I	1	0,95	0,63	0,58	0,000027	0,060	0,000210
	2	2,45	0,98	0,85	0,000039	0,060	
	3	1,00	1,20	1,02	0,000057	0,060	
	4	3,50	1,18	0,99	0,000056	0,060	
	5	0,65	0,49	0,30	0,000021	0,060	
II	1	0,90	0,65	0,59	0,000028	0,060	0,000210
	2	2,40	1,00	0,87	0,000040	0,060	
	3	1,15	1,21	1,03	0,000058	0,060	
	4	3,45	1,19	1,00	0,000055	0,060	
	5	0,60	0,50	0,31	0,000021	0,060	
III	1	0,88	0,61	0,57	0,000025	0,060	0,000210
	2	2,37	1,02	0,89	0,000041	0,060	
	3	1,10	1,22	1,05	0,000059	0,060	
	4	3,42	1,20	1,04	0,000058	0,060	
	5	0,58	0,52	0,33	0,000022	0,060	
Варіант № 14							
I	1	0,65	0,44	0,36	0,000021	0,054	0,000205
	2	3,60	0,98	0,81	0,000040	0,054	
	3	2,95	0,54	0,44	0,000025	0,054	
	4	3,60	0,98	0,82	0,000040	0,054	
	5	1,15	0,38	0,29	0,000019	0,054	
II	1	0,69	0,43	0,36	0,000021	0,054	0,000205
	2	3,69	0,99	0,82	0,000040	0,054	
	3	3,05	0,52	0,45	0,000026	0,054	
	4	3,70	0,96	0,80	0,000038	0,054	
	5	1,20	0,35	0,30	0,000019	0,054	
III	1	0,70	0,43	0,36	0,000021	0,054	0,000205
	2	3,70	0,99	0,81	0,000040	0,054	
	3	3,10	0,50	0,43	0,000025	0,054	
	4	3,71	0,95	0,81	0,000040	0,054	

	5	1,19	0,36	0,31	0,000020	0,054	
Варіант № 15							
I	1	0,45	0,86	0,70	0,000030	0,072	0,000200
	2	3,70	1,05	0,98	0,000045	0,072	
	3	2,95	0,73	0,67	0,000028	0,072	
	4	1,90	0,54	0,47	0,000024	0,072	
	5	0,30	0,28	0,19	0,000020	0,072	
II	1	0,40	0,88	0,71	0,000030	0,072	0,000200
	2	3,65	1,06	0,99	0,000046	0,072	
	3	2,90	0,75	0,69	0,000029	0,072	
	4	1,85	0,56	0,48	0,000025	0,072	
	5	0,25	0,29	0,20	0,000021	0,072	
III	1	0,35	0,89	0,72	0,000031	0,072	0,000200
	2	3,60	1,05	0,98	0,000045	0,072	
	3	2,85	0,77	0,70	0,000030	0,072	
	4	1,80	0,56	0,49	0,000026	0,072	
	5	0,20	0,30	0,21	0,000022	0,072	

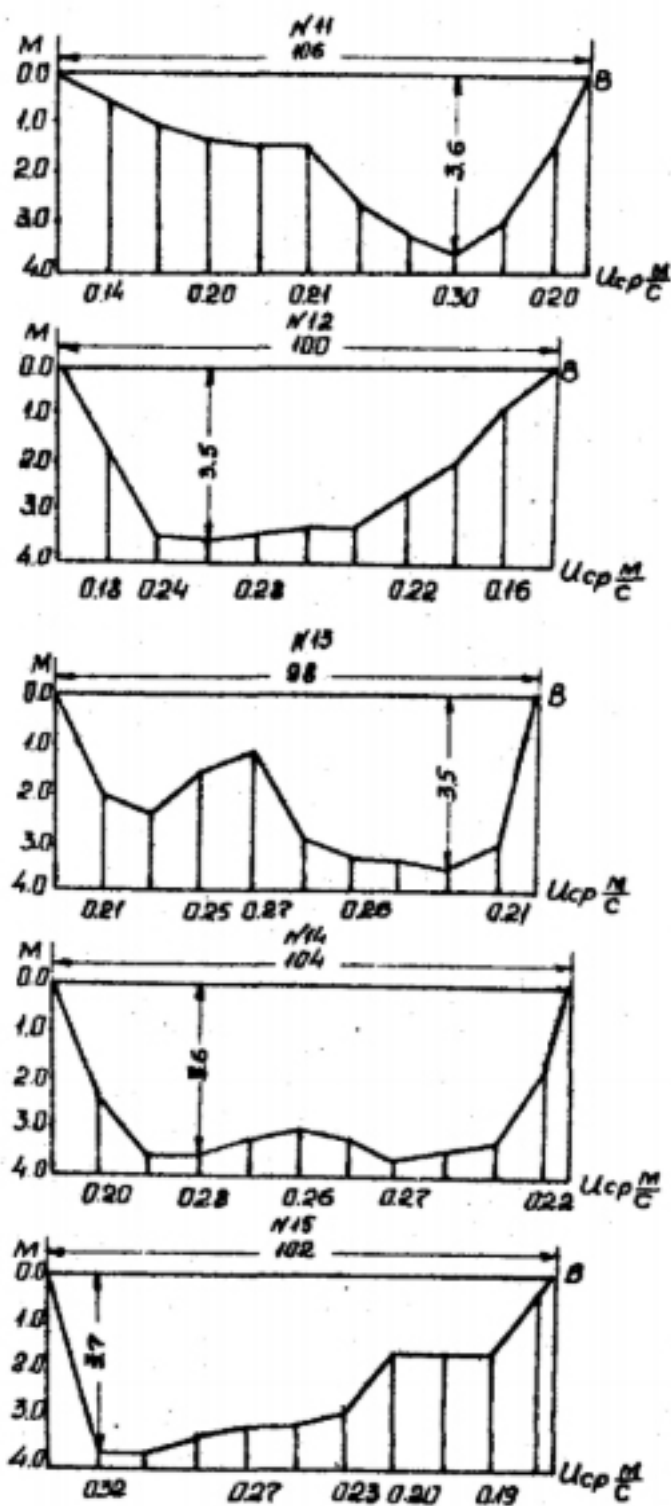
Додаток П – Глибини та розподіл швидкостей по ширині русла річок.



Продовження додатку П.



Продовження додатку П.



Контрольні запитання до практичних робіт

Контрольні запитання до практичної роботи №1

1. Якими факторами обумовлено розподіл осереднених швидкостей у руслових потоках?
2. Які характеристики пов'язує теоретичний закон розподілу осереднених швидкостей по вертикалі у випадку плоскої рівномірної течії?
3. Які вчені отримали залежності для опису вертикального профілю швидкостей плоского потоку?
4. Якого виду формулу запропонував А.В. Караушев, що означають позначення у цій формулі?
5. Якого виду формулу запропонував Х.Е. Базен, що означають позначення у цій формулі?
6. Якого виду формулу запропонував С.І. Колупайло, що означають позначення у цій формулі?
7. Якого виду формулу запропонував А. Прандтль, що означають позначення у цій формулі?
8. Якого виду формулу запропонував Т. Карман, що означають позначення у цій формулі?
9. Особливості епюри швидкості на ділянках рівнинних річок з різними інженерними спорудами та заходами.
10. Особливості епюри швидкості для ділянок рівнинних річок з рівним дном.
11. Особливості епюри швидкості на гірських ділянках річок.

Контрольні запитання до практичної роботи №2

1. Які існують критичні швидкості за результатами експериментальних досліджень по вивченню закономірностей руху наносів?
2. Яке співвідношення між непересуваючою та зриваючою швидкостями?
3. Яку умову використовують у рівнянні для висновку розрахункових значень критичних швидкостей потоку?
4. Які вчені одержали формули для критичних швидкостей, які показники в них використовуються?
5. Які бувають режими переміщення наносів у придонному шарі?
6. Які визначальні параметри лежать в основі обчислення стоку твердих наносів за емпіричними формулами при відсутності спостережень у кожній із чотирьох груп формул?
7. Які формули відносяться до першої групи, їх особливості?
8. Які формули відносяться до другої групи, їх особливості?

9. Які формули відносяться до третьої групи, їх особливості?
10. Які формули відносяться до четвертої групи, їх особливості?
11. Які параметри пасм використовуються для розрахунку наносів, що переміщуються у донно-пасмовій формі?

Контрольні запитання до практичної роботи №3

1. Що означає транспортувальна здатність потоку?
2. Що означає критична мутність потоку?
3. На які групи можна поділити існуючі методи розрахунку транспортувальної здатності потоку?
4. Формули яких авторів відносяться до емпіричних?
5. Які вчені отримали залежності із теоретичних та експериментальних досліджень?
6. Який принцип лежить в основі формули А.Г. Хачатряна для граничної мутності?
7. Які параметри використовує К.І. Россінський для оцінки граничного насичення потоку наносами?
8. Для наносів якої гідравлічної крупності наведені формули Є.А. Замаріна?
9. Поняття гідравлічної крупності.
10. Яка теорія є основою формул К.В. Гришаніна, А.В. Караушева?
11. Поняття динамічної швидкості.

Контрольні запитання до практичної роботи №4

1. Які є види деформації русел?
2. Поняття руслового процесу та його головна характеристика.
3. Назвіть принципи обчислювань гідравлічного розрахунку деформацій русла?
4. Які причини виникнення деформацій русла?
5. У чому заключається розрахунок деформації дна методом Караушева-Макавєєва, яке спрощення приймають для розрахунку?
6. В яких одиницях вимірюється донна мутність?
7. В яких одиницях вимірюється секундна витрата наносів через одиницю поверхні дна потоку?
8. У якому випадку русло буде динамічно стале?
9. Навіщо потрібно враховувати пористість ґрунту?
10. Як деформації спричиняють зміну глибини потоку?
11. Які недоліки методу Караушева-Макавєєва?

Рекомендована література.

1. Н.Б. Барышников, И.В. Попов - Динамика русловых потоков и русловые процессы. –Л., Гидрометеиздат, 1988.-454 с.
2. М.А. Великанов – Динамика русловых потоков. –М.,ГИТТЛ,т.2, 1955.-323 с.
3. К.В. Гришанин – Динамика русловых потоков. –Л., Гидрометеиздат, 1979.-312 с.
4. Н.С. Знаменская – Донные наносы и русловые процессы. –Л., Гидрометеиздат, 1976.-189 с.
5. А.В. Караушев – Теория и методы расчета речных наносов. –Л., Гидрометеиздат, 1977.-270 с.
6. К.Н. Россинский, В.К. Дебольский – Речные наносы. –М., Наука, 1980.-215 с.

**ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**

по виконанню практичних робіт з дисципліни

«ДИНАМІКА РУСЛОВИХ ПОТОКІВ І РУСЛОВІ ПРОЦЕСИ»

для магістрів I-II року денної форми навчання
Спеціальність – 103 «Науки про Землю»

Укладачі: Даус М.Є., к.геогр.н., доц.
Кущенко Л.В., технік 1 кат. навчальної лабораторії гідрологічної інформації та
розрахунків, здобувач 1-го року навчання

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

Збірник
методичних вказівок
по виконанню практичних робіт з дисципліни
«Динаміка руслових потоків і руслові процеси»
для магістрів I-II року денної форми навчання
Спеціальність – 103 «Науки про Землю»

«Узгоджено»
у деканаті магістерської та аспірантської підготовки

Одеса 2018