

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»


## ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**методичні вказівки  
до самостійного вивчення  
практичної частини дисципліни  
для здобувачів вищої освіти спеціальності  
183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
усіх форм навчання другого (магістерського)  
рівня вищої освіти**

*Рекомендовано Науково-методичною радою  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол № 2 від «17» листопада 2022 р.)  
Обов'язково до розміщення в репозиторії*

Запоріжжя 2022

**mip** metinvest  
polytechnic



Методичні вказівки до самостійного вивчення практичної частини дисципліни «Екологічні проблеми інженерно-геологічних процесів» (для здобувачів вищої освіти спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти) / О.В. Орлінська, Д.С. Пікареня. Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2022. 42 с.

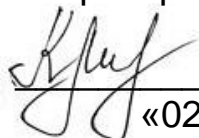
Методичні вказівки включають завдання до практичних робіт за варіантами, методичні пояснення щодо порядку виконання, вимоги до його оформлення.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» другого (магістерського) рівня освіти.

*Самостійне електронне текстове мережеве видання*

Затверджено на засіданні кафедри  
Екології та економіки довкілля  
Протокол № 3 від «01» листопада 2022 р.

Узгоджено:  
Секретар Редакційної ради

 Малій Х. В.  
«02» листопад 2022 р.

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2022



## ЗМІСТ

Практична робота №1. Розрахунок стійкості зсувного схилу.....	4
Практична робота №2. Оцінка часу фільтраційних втрат зі ставка- накопичувача високомінералізованих шахтних вод.....	13
Практична робота №3. Визначення можливості водопостачання населеного пункту за рахунок підземних вод.....	15
Практична робота №4. Визначення положення кар'єру з урахуван- ням гідрогеологічних умов території.....	18
Практична робота №5. Землетруси як фактори прояву інженерно- геологічних процесів.....	20
Практична робота №6. Вивчення нормативних документів щодо про- ведення інженерно-геологічних вишукувань в складних умовах.....	24
Практична робота №7. Розрахунки берегових деформацій на рів- нинних річках.....	25
Додаток А. Вихідні дані до виконання практичної роботи № 1 за варіантами.....	33

## Практична робота № 1 Розрахунок стійкості зсувного схилу

Геологічне середовище – частина загальної природного середовища. Причому цілий ряд особливостей цього середовища може бути причиною ряду змін як природних, так і антропогенних ландшафтів, аж до катастроф. Серед безлічі таких явищ можна виділити зсуви.

Зсув – ковзне зміщення вниз по схилу під дією сил тяжіння мас ґрунту, що формують схили пагорбів, гір, річкові, озерні і морські тераси.

Морфологічні елементи зсуву наведені на рис.1.1.

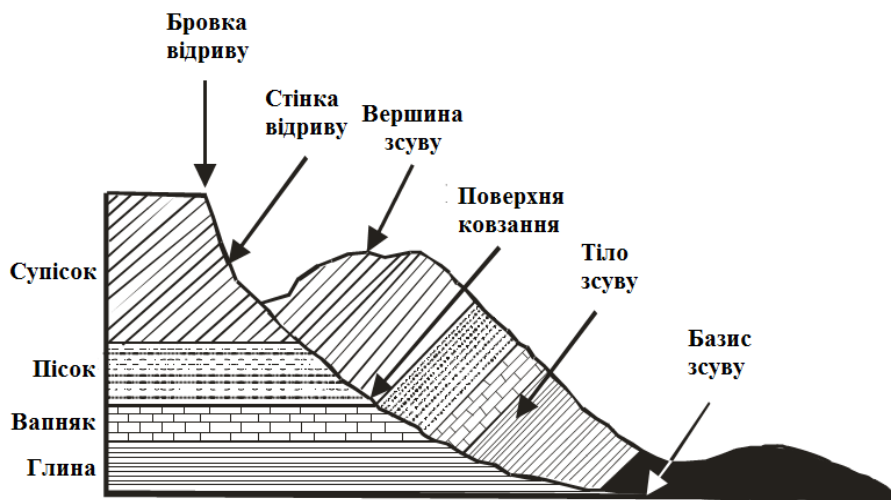


Рисунок 1.1 – Морфологічні елементи зсуву

Тіло зсуву – сповзаюча маса гірських порід, що зберегла свою монолітність або розпалася на окремі частини.

Вершина зсуву - верхній край маси, яка зсунулася, що має найчастіше опукле обрис.


Поверхня ковзання - поверхня, по якій відбувається переміщення зсуву.

Базис зсуву - нижча точка руху зсуву. Найчастіше це підощва схилу, рівень дна річки, поверхня водотривкому горизонту.

Стінка відриву - верхній вихід поверхні ковзання на поверхню землі. За формою вона або паралельна схилу, або має дугоподібну форму, а ухил стінок  $45^\circ$  і більше.

Виділяються деляпсивні та детрузивні зсуви.

Деляпсивні зсуви (лат. «Деляпус» - падіння, зісковзування). Породи зісковзують під впливом власної ваги. В цьому випадку в зсувній тілі зберігається послідовність шарів, дещо закинута в сторону непорушеної частини схилу. При деляпсивному характері зсуву рух нестійких мас починається в основі схилу, і, позбавляючи опори вищележачі маси, поступово захоплює і їх, поки весь укіс не прийде до руху.



Детрузивні зсуви (лат. «Детрузіо» - зіштовхування), утворюються, коли зсув відбувається під напором або при штовханні порід, які розташовані вище (відірвалися від схилу і сповзають). У детрузивних зсувах рух починається зверху і передається поступово вниз. Базис зсуву детрузивних зсувів знаходиться нижче рівня річки або дна річки. Ці зсуви виштовхують породи, що знаходилися у базису зсуву.

За характером зміщення виділяються три типи зсувів.

1. Асеквентні. Це зсуви, що відбуваються переважно в однорідних нешаруватих породах. Поверхня ковзання у таких зсувів крива, близька до циліндричної форми. За характером зміщення більшість цих зсувів відноситься до категорії деляпсивних.


2. Консеквентні. Поверхня ковзання у цій категорії зсувів обумовлюється поверхнями розділу, наявними в товщі порід. Такими поверхнями можуть бути:

- Поверхні нашарування осадових порід;
- Контакт ґрунтового-рослинного шару з підґрунтям;
- Контакт плаща делювію (породи, нанесені зі схилу водою) з корінними породами;
- Системи тріщин, які перетинаються та розбивають породу і визначають ламану поверхню ковзання;
- Межа контакту осадових порід з інтрузією.

3. Інсеквентні. Це зсуви, що врізаються в товщу схилу, складеного різними породами, які являють собою чергування пластів різного складу. Поверхня зсуву ріже ці породи під різними кутами до їх нашарування і являє собою неоднорідну криву (круту у верхній частині і пологіу в нижній).

Умовами, що сприяють утворенню зсувів, є:

- Наявність крутих схилів з кутом нахилу більше  $25^\circ$ ;
- Наявність під водопроникними пластами водотривної товщі, що викликає утворення на її кордоні водоносного шару, за допомогою вод якого буде рухатися майбутній зсув;
- Достатня кількість опадів, що забезпечують вологонасичення ґрунту;
- Наявність порід, пластичність яких збільшується при перезволоженні, таких як глина або крейда. Наприклад, міцність крейди при перезволоженні падає в 600-700 разів;
- Наявність нахилу пластів в сторону долини, тобто відповідно до схилу.
- Крім шаруватості, нестійкість ґрунту укосу може бути викликана сильною роздробленістю породи системами тріщин. Тріщини збільшують глибину ерозійного врізу, викликаючи подальше руйнування і
- Відрив поверхневих товщ від основного масиву, сприяючи насиченню масиву водою, що зумовлює зміну фізико-технічних властивостей породи. У сейсмічних зонах при землетрусах тріщини сприяють утворенню зсувів.



– Підмив нижній частині ґрунту річкою, надмірне просочування схилу водою дощів або талих снігів. Велика кількість опадів призводить також до інтенсивного змиву ґрунту, після чого знову відбувається утворення тріщин (розвантаження від тиску, змитого ґрунту). Такі ж умови утворюються при рясному поливі садів і городів, розташованих на краю схилу або при утворенні на краю плато, прилеглого до схилу, природних і штучних водойм (озерця, болота, загати).

– Обтяження краю плато за допомогою якої-небудь споруди або природного утворення (зародження озера, заростання схилу лісом). Вирубка лісу призводить до утворення зсувів, але деревна рослинність є неоднозначним чинником. Навесні в лісі затримується багато снігу, і при його таненні ґрунт сильно перезволожується. Крім того, дерева передають вітрову енергію ґрунту, що призводить до відриву мас ґрунту, і, як і перезволоження сприяє розвитку зсувів.

Зсуви приносять величезну шкоду господарської діяльності людини - вони захоплюють з собою будівлі, викликаючи руйнування цілих селищ або частин міст, знищують сільськогосподарські угіддя, ліси, руйнують дороги. Крім прямих збитків зсуви приносять і непрямі - простої транспорту, неможливість доставити вантажі, необхідні для різних підприємств, зниження врожаїв через порушення іригаційних систем.

**Завдання до практичної роботи №1.** Розрахувати стійкість зсувного схилу відповідно до варіанту завдання (Додаток А) з урахуванням геологічних умов і фізико-механічних характеристик ґрунтів.

#### **Вихідні дані:**

– Геологічна характеристика ґрунтів зсувного схилу (дані буріння по свердловинах);

– Фізико-механічні характеристики ґрунту тіла зсуву ( $\varphi$  – кут внутрішнього тертя,  $c$  – зчеплення,  $\gamma$  – об'ємна вага).

Потрібно розрахувати коефіцієнт стійкості зсувного схилу з консеквентним зсувом.

#### **Хід виконання.**

1. Побудувати геологічний розріз відповідно до варіанта завдання. Масштаб побудов (горизонтальний та вертикальний) – 1:500 ( в 1 сантиметрі – 5 метрів).

1.1. Провести лінію проектування на відстані 2 см від нижнього краю аркушу формату А4, який розташований вертикально! Висотний рівень лінії проектування – на 5 метрів нижче мінімальної глибини по свердловинах.

Проекція першої свердловини розташовується на лінії проектування ліворуч або праворуч в залежності від варіанта завдання на відстані 2 см від бічного краю аркушу. Друга свердловина розташовується ліворуч або праворуч від першої на вказаній відстані у масштабі. Третя

та наступні свердловини розташовуються на вказаній відстані **від першої свердловини** у масштабі побудов. Якщо свердловини розташовані вірно, лінія розрізу не вийде за межі аркушу.

1.2. Відмітити положення свердловин згідно їх висотних відміток, з'єднати отримані точки та побудувати лінію рельєфу схилу.

1.3. Від лінії рельєфу провести стовбури свердловин до мінімальних відміток.

1.4. На кожному стовбурі відмітити геологічні межі засічками по 5 мм та межі розвитку зсувного ґрунту.

1.5. Побудувати зсувне тіло шляхом з'єднання відповідних засічок. Отримана лінія буде лінією ковзання. Вона повинна вийти на рельєф проміж свердловин, де є та немає зсувного ґрунту.

1.6. Після виконання попереднього пункту провести геологічні межі. Вони будуть практично горизонтальні та деякі з них будуть «впиратися» у лінію ковзання, але **не перетинати її**.

1.7. Позначити породи на розрізі умовними знаками.

2. На розрізі визначити довжину **L** поверхні ковзання за допомогою курвіметра, циркуля, нитки, паперової смужки або іншим доступним методом (у метрах).

3. На розрізі визначити площу тіла зсуву **S** за допомогою квадратної палетки з квадратом 5 мм або планіметра (у кв. метрах!).

4. Визначити вагу тіла зсуву за формулою

$$P = S \cdot \gamma,$$

де **S** – площа тіла зсуву;

**γ** – об'ємна вага ґрунту зсуву.

5. Виміряти транспортиром кут укосу зсувного схилу **α** (рис. 1.2)

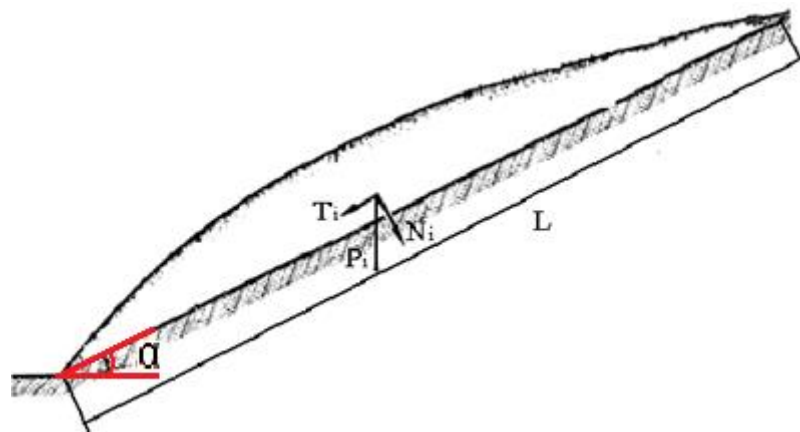


Рисунок 1.2 – До розрахунку стійкості зсувного схилу

6. Визначити зсувну **T** і нормальну **N** складові тиску ваги тіла зсуву за формулами

$$T = P \cdot \sin \alpha$$

$$N = P \cdot \cos \alpha,$$

де: **P** – вага тіла зсуву

$\alpha$  – кут укосу зсувного схилу.

7. Розрахувати коефіцієнт стійкості зсувного схилу **K** за формулою:

$$K = \frac{N \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + c \cdot L}{T}$$

де: **N** – нормальна складова тиску ваги тіла зсуву;

**T** – зсувна складова тиску ваги тіла зсуву

**c** – зчеплення

**L** – довжина поверхні ковзання

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя.

Якщо  $K \geq 1,5$ , то схил вважають стійким, інакше – схил нестійкий.

8. Оформити роботу: умовні позначки, розрахунки тощо.

### Приклад виконання графічної частини практичної роботи №1

Таблиця 1.1 – Розв'язання прикладу. Варіант №28. Вихідні дані

Варіант 28	Шари (в абс. відмітках):		
	Початок	Підошва	Опис ґрунту
Сврд. 1 (праворуч) 0 метрів	144	143	Супісок
	143	140	Суглинок
	140	115	Пісок
	115	105	Піщаник
	105	95	Мергель
	95	85	Вапняк
Сврд. 2 (праворуч) 10 метрів	85	80	Глина
	143	140	Суглинок
	140	115	Пісок
	115	105	Піщаник
	105	95	Мергель
	95	85	Вапняк
Сврд. 3 (праворуч) 20 метрів	85	80	Глина
	142	140	Суглинок
	140	115	Пісок
	115	105	Піщаник
	105	95	Мергель
	95	85	Вапняк
Сврд. 4 (праворуч) 22 метрів	85	80	Глина
	132	130	Зсувний ґрунт
	130	105	Пісок
	105	95	Мергель
	95	85	Вапняк
Сврд. 5 (праворуч) 45 метрів	85	80	Глина
	130	95	Зсувний ґрунт
	95	85	Вапняк

Сврд. 6 (праворуч) 70 метрів	115	92	Зсувний ґрунт
	85	80	Глина
Сврд. 7 (праворуч) 75 метрів	114	92	Зсувний ґрунт
	92	85	Вапняк
Сврд. 8 (праворуч) 80 метрів	85	80	Глина
	115	90	Зсувний ґрунт
	86	85	Вапняк
Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	85	80	Глина
	116	91	Зсувний ґрунт
	91	85	Вапняк
	85	80	Глина

### Хід виконання

1. Побудувати геологічний розріз відповідно до варіанта завдання. Масштаб побудов (горизонтальний та вертикальний) – 1:500.

1.1. Провести лінію проектування на відстані 2 см від нижнього краю аркушу формату А4, який розташований вертикально! Висотний рівень лінії проектування – на 5 метрів нижче мінімальної глибини по свердловинах.

Проекція першої свердловини розташовується на лінії проектування ліворуч або праворуч в залежності від варіанта завдання на відстані 2 см від бічного краю аркушу. Друга свердловина розташовується ліворуч або праворуч (як у прикладі) від першої на вказаній відстані у масштабі. Третя та наступні свердловини розташовуються на вказаній відстані **від першої свердловини!!!** у масштабі побудов. Якщо свердловини розташовані вірно, лінія розрізу не вийде за межі аркушу (рис. 1.3).

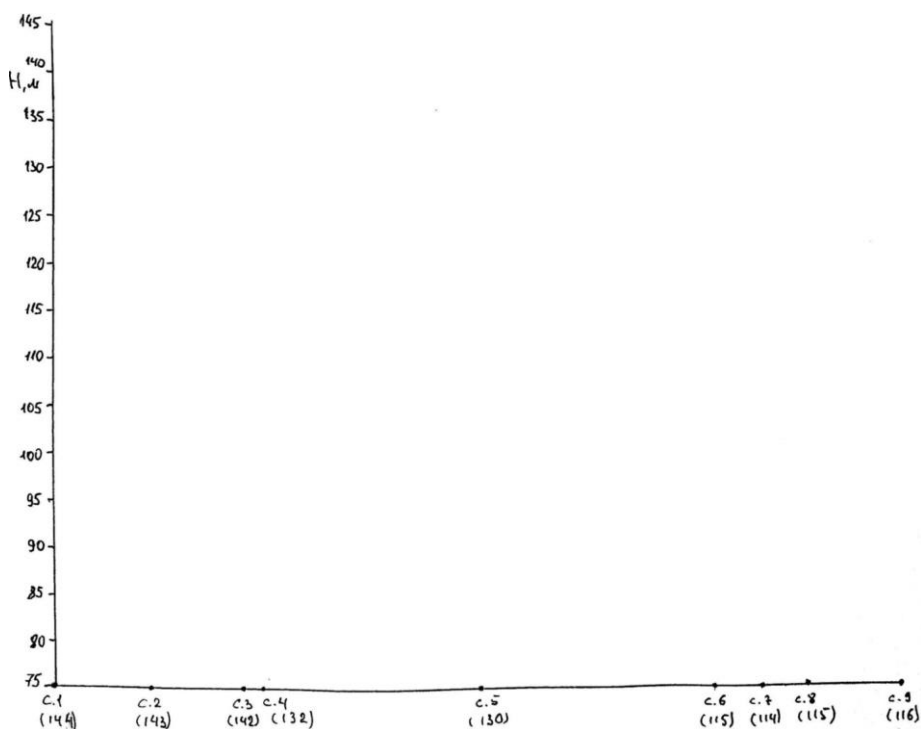


Рисунок 1.3 – Результат виконання пункту 1.1

1.2. Відмітити положення свердловин згідно їх висотних відміток, з'єднати отримані точки та побудувати лінію рельєфу схилу (рис. 1.4).

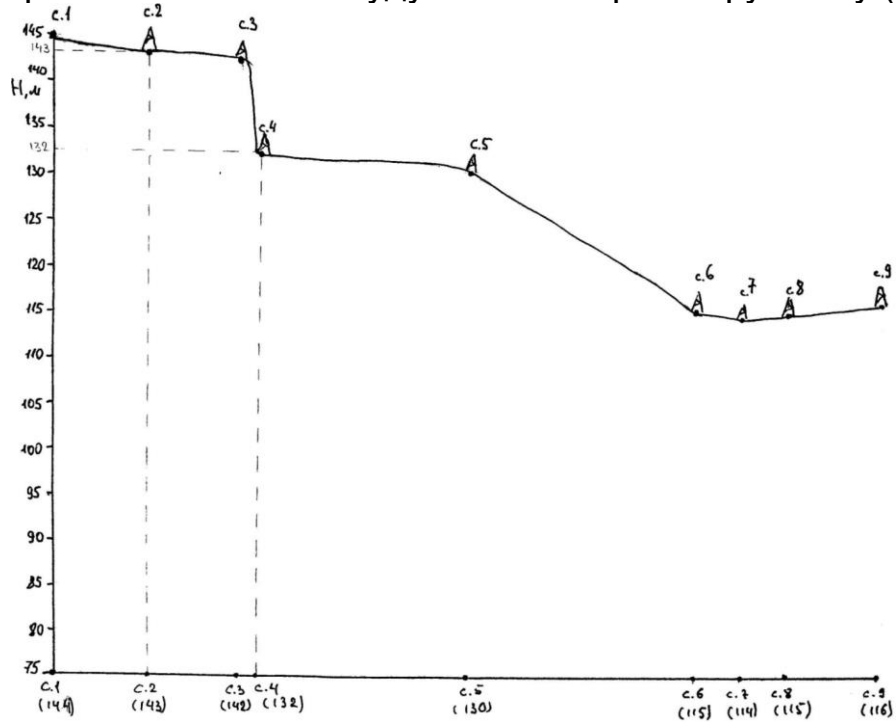


Рисунок 1.4 – Результат виконання пункту 1.2

1.3. Від лінії рельєфу провести стовбури свердловин до мінімальних відміток (рис. 1.5).

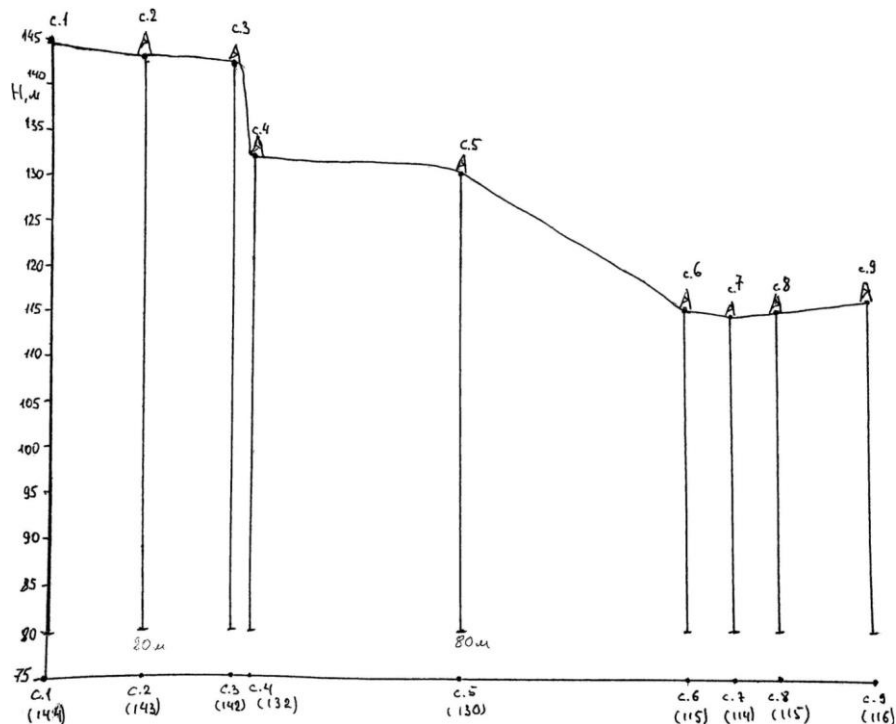


Рисунок 1.5 – Результат виконання пункту 1.3

1.4. На кожному стовбурі відмітити геологічні межі засічками по 5 мм та межі розвитку зсувного ґрунту (рис. 1.6).

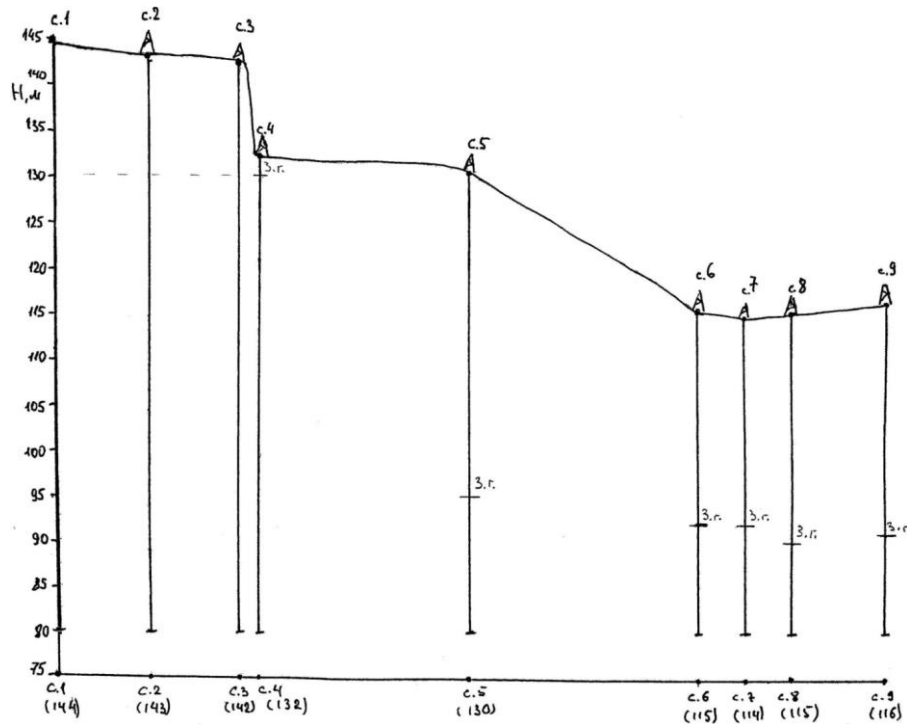


Рисунок 1.6 – Результат виконання пункту 1.4

1.5. Побудувати зсувне тіло шляхом з'єднання відповідних засічок. Отримана лінія буде лінією ковзання. Вона повинна вийти на рельєф проміж свердловин, де є та немає зсувного ґрунту (рис. 1.7).

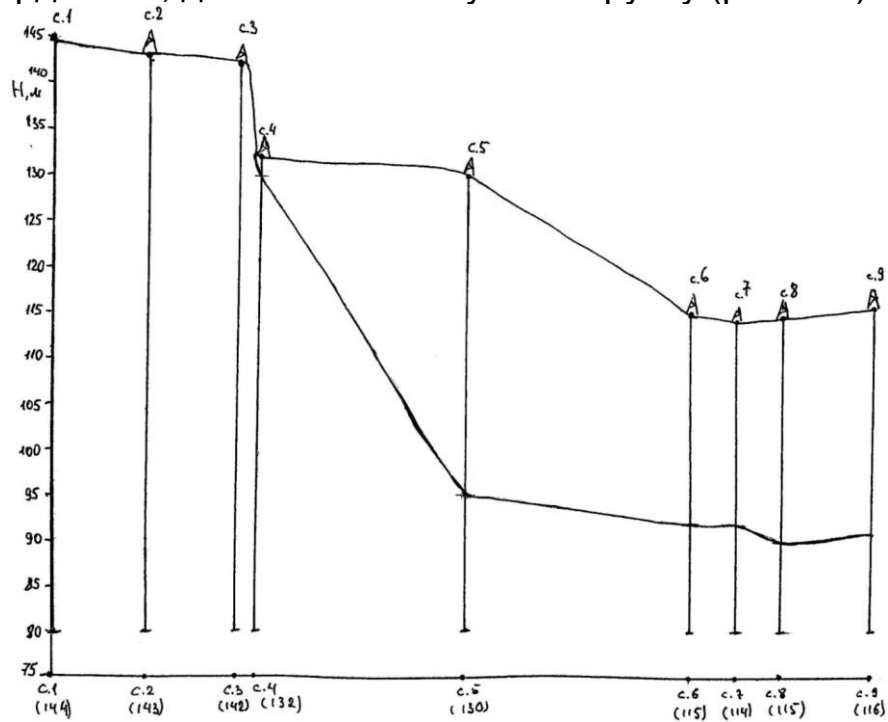


Рисунок 1.7 – Результат виконання пункту 1.5

1.6. Після виконання попереднього пункту провести геологічні межі. Вони будуть практично горизонтальні та деякі з них будуть «впиратися» у лінію ковзання, але **не перетинати її!!!** (рис. 1.8).

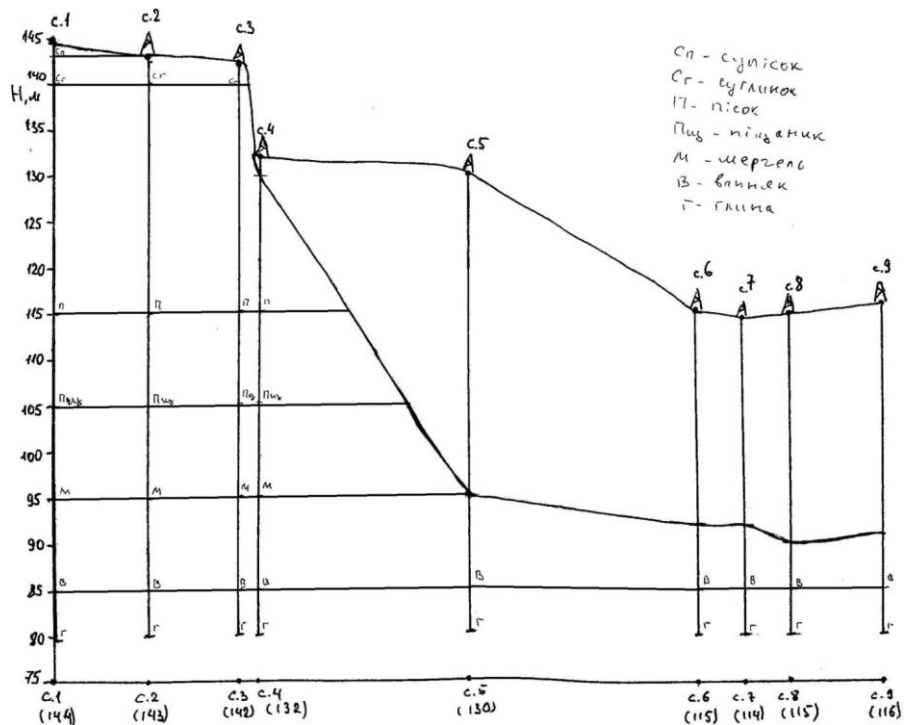


Рисунок 1.8 – Результат виконання пункту 1.6

1.7. Позначити породи на розрізі умовними знаками (рис.1.9).

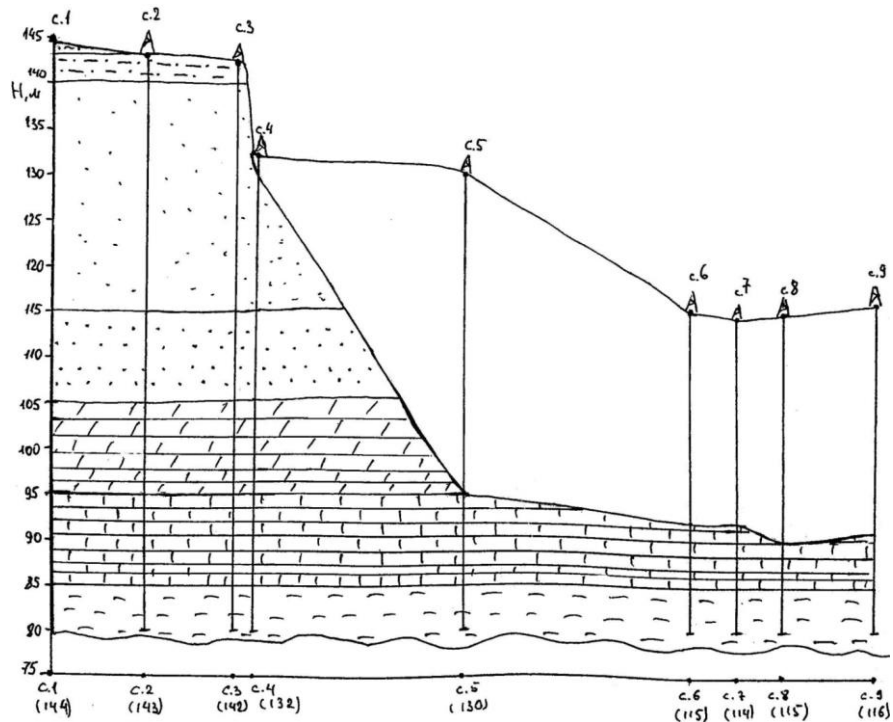



Рисунок 1.9 – Результат виконання пункту 1.7



## Практична робота №2

### Оцінка часу фільтраційних втрат зі ставка-накопичувача високомінералізованих шахтних вод

В гірничо-видобувних регіонах хвостосховища, ставки-накопичувачі високомінералізованих шахтних вод є небезпечними об'єктами, незадовільний технічний стан яких може призвести до масштабних аварій.

Незначні пошкодження, розуцільнення, тріщини в тілі дамб являються зонами фільтрації, крізь які витікають розчини, забруднюючи навколишнє середовище.

В практичній роботі пропонується розрахувати час, за який буде випорожнений ставок-накопичувач високомінералізованих шахтних вод.

Розрахунок площі (перерізу) зони фільтрації, по якій просочується розчин із ставка-накопичувача:

$$F_{n1} = S_1 \cdot h \cdot K_1, \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

$$F_{n2} = S_2 \cdot h \cdot K_2, \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

$$F_{n3} = S_3 \cdot h \cdot K_3, \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

де  $S_1$  – ширина зони тріщинуватості I порядку;  
 $S_2$  – ширина зони тріщинуватості II порядку;  
 $S_3$  – ширина зони тріщинуватості III порядку;  
 $h$  – глибина ставка-накопичувача;  
 $K_1$  – коефіцієнт зони тріщинуватості I порядку;  
 $K_2$  – коефіцієнт зони тріщинуватості II порядку;  
 $K_3$  – коефіцієнт зони тріщинуватості III порядку.

Об'єм води, що проходить по зонах тріщинуватості різного порядку зі ставка-накопичувача за добу (2.4):

$$V_d = F_{n1} \cdot K_{ф1} + F_{n2} \cdot K_{ф2} + F_{n3} \cdot K_{ф3}, \text{ м}^3/\text{доба} \quad (2.4)$$

де  $K_{ф1}$ ,  $K_{ф2}$ ,  $K_{ф3}$  – коефіцієнти фільтрації відповідно зон I, II і III порядків.

Кількість часу, за який вся вода зі ставка-накопичувача профільтрується по зонах розломів визначається за формулою (2.5):


$$t = V_{с-н} / V_d, \text{ доба} \quad (2.5)$$

де  $V_{с-н}$  – об'єм ставка-накопичувача,  $\text{м}^3$

**Завдання:** Розрахувати час спорожнення ставка-накопичувача по зонах тріщинуватості за даними, наведеними у таблиці 2.1.

**Таблиця 2.1 – Вихідні дані до розрахунку часу спорожнення ставка-накопичувача по зонах тріщинуватості**

№ варіанту	Об'єм ставка, $V_{с-н}, м^3$	Глибина ставка, $h, м$	Ширини зон тріщинуватості, $S, м$			Коефіцієнт тріщинуватості, $K, \%$			Коефіцієнт фільтрації зон тріщинуватості, $K_f, м/добу$		
			зона I порядку	зона II порядку	зона III порядку	зона I порядку	зона II порядку	зона III порядку	I порядку	II порядку	III порядку
1	$1,1 \cdot 10^6$	2,6	250	90	45	37	25	16	0,60	0,30	0,20
2	$1,4 \cdot 10^6$	2,3	270	95	40	38	24	17	0,65	0,31	0,21
3	$1,7 \cdot 10^6$	2,6	280	100	48	39	23	15	0,68	0,33	0,19
4	$2,1 \cdot 10^6$	2,8	275	98	46	41	24	17	0,69	0,32	0,17
5	$2,4 \cdot 10^6$	2,9	293	102	51	42	25	14	0,71	0,34	0,15
6	$1,5 \cdot 10^6$	2,3	290	103	53	36	21	12	0,59	0,29	0,12
7	$2,3 \cdot 10^6$	2,5	294	99	47	40	20	13	0,68	0,27	0,15
8	$2,6 \cdot 10^6$	2,9	286	96	49	44	22	16	0,73	0,25	0,16
9	$2,7 \cdot 10^6$	3,0	283	94	53	43	23	17	0,72	0,26	0,18
10	$1,6 \cdot 10^6$	2,7	254	97	49	36	21	15	0,58	0,28	0,16
11	$1,8 \cdot 10^6$	2,6	261	86	43	37	24	13	0,61	0,33	0,12
12	$2,5 \cdot 10^6$	2,8	291	104	55	39	26	17	0,58	0,30	0,17
13	$2,8 \cdot 10^6$	2,7	289	107	54	40	23	16	0,62	0,27	0,14
14	$1,3 \cdot 10^6$	2,0	249	86	42	35	21	13	0,58	0,26	0,13
15	$1,2 \cdot 10^6$	2,0	241	84	41	36	19	11	0,69	0,25	0,15
16	$2,2 \cdot 10^6$	2,4	302	110	61	38	20	14	0,67	0,29	0,20
17	$3,0 \cdot 10^6$	3,0	307	108	63	42	24	18	0,58	0,30	0,17
18	$3,1 \cdot 10^6$	3,1	312	106	62	43	26	19	0,61	0,32	0,20
19	$3,2 \cdot 10^6$	3,5	310	104	65	44	27	18	0,65	0,34	0,18
20	$3,5 \cdot 10^6$	4,0	315	108	67	41	25	16	0,63	0,33	0,14



### Практична робота №3

#### Визначення можливості водопостачання населеного пункту за рахунок підземних вод

Дуже часто водопостачання населених пунктів, особливо невеликих, здійснюється за рахунок підземних вод. Але для цього можна використовувати підземні води певного хімічного складу та мінералізації. Тому, перед тим, як приймається рішення про влаштування підземного водозабору, проводиться всебічне вивчення підземних вод та визначається загальна мінералізація та вміст наступних компонентів:

Хлор-іон ( $\text{Cl}^-$ ) – найбільш розповсюджений аніон у поверхневих та підземних водах. Знаходиться у сполуках з Na і K. У глибоких горизонтах Na і K заміщуються Ca і Mg. *За стандартами вміст хлору у воді не повинен перевищувати 350 мг/дм<sup>3</sup>.*

Сульфат-іон ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) – досить розповсюджений, в основному зі сполуками з Na і K. З Na утворює добре розчинні сполуки  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; з Ca і Mg - слабозрозчинні сполуки (гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). У вільному стані присутній дуже рідко, потрапляє у воду при окисленні піриту ( $\text{FeS}_2$ ) чи халькопіриту ( $\text{FeCuS}_2$ ). Сульфатні води переважають там, де у складі гірських порід присутній гіпс.

*За стандартом вміст  $\text{SO}_4^{2-}$  у питній воді не повинен перевищувати 500 мг/дм<sup>3</sup>.*

Гідрокарбонат і карбонат-іони ( $\text{HCO}_3^-$  та  $\text{CO}_3^{2-}$ ). Гідрокарбонатні іони переважають у підземних водах з мінералізацією до 0,5 г/дм<sup>3</sup>, де їх концентрація сягає 75%. У водах він зустрічається у сполуках з Ca і Mg. Бікарбонат Ca і Mg розчиняється у воді дуже погано, більше розчиняється карбонат і бікарбонат Na. У поверхневих і ґрунтових водах  $\text{CO}_3^{2-}$  практично немає у порівнянні з бікарбонат-іоном.

*Цей показник не нормується за граничним вмістом.*

Натрій-іон ( $\text{Na}^+$ ). Натрій зустрічається у поверхневих і підземних водах у сполуках із хлором, сульфат-іоном, рідше з гідрокарбонат-іоном.

*За стандартом у питній воді вміст Na не повинен перевищувати 200 мг/дм<sup>3</sup>.*

Калій-іон ( $\text{K}^+$ ). Не дивлячись на добру розчинність солей K, іон калію значно менше розповсюджений у воді. Пояснюється це тим, що K активно споживається рослинами. *Зазвичай при хімічному аналізі визначається спільний вміст іонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{K}^+$ , при цьому Na завжди більше.*

Кальцій-іон ( $\text{Ca}^{2+}$ ) – один з найбільш розповсюджених, однак його кількість значно менше ніж натрію. Входить до складу багатьох породотворюючих мінералів – кальцит, доломіт, гіпс та гірських порід. У воді його сполуки слабозрозчинні і тому ступінь мінералізації вод, які містять кальцій невеликий. Він потрапляє у води при вилуговуванні вапняків, доломітів, гіпсів.

Магній-іон ( $\text{Mg}^{2+}$ ) розповсюджений у підземних водах значно менше

ніж Са. Поява Mg-іона у підземних водах свідчить про наявність мінералів, які містять цей іон, в основному це доломіти.

Кальцій- і магній-іони дають важливу характеристику води – жорсткість, яка відображає суму міліграм-еквівалентів іонів Са і Mg на 1 дм<sup>3</sup> води. Від жорсткості води залежить кількість миючих засобів, накип, можливість використання води в різних виробництвах.

*За стандартом жорсткість води не повинна перевищувати 7 мг.екв/дм<sup>3</sup>.*

1 мг.екв [Са<sup>2+</sup>]відповідає вмісту в 1 дм<sup>3</sup> води 20,04 мг Са<sup>2+</sup>

1 мг.екв [Mg<sup>2+</sup>]відповідає вмісту в 1 дм<sup>3</sup> води 12,16 мгMg<sup>2+</sup>.

Вода з мінералізацією до 1 г/л є придатною для питного водопостачання, з мінералізацією 1-1,5 г/л – умовно придатною; з мінералізацією більше 1,5 г/л – не придатною.

Якщо підземна вода відноситься до категорії умовно придатної, то визначається, за якими макрокомпонентами вона перевищує діючі нормативні значення.

### **Завдання до практичної роботи №3:**

1. Розрахувати загальну мінералізацію води зі свердловин за даними таблиці 3.1 і встановити можливість безпечного питного водопостачання мешканцям населеного пункту (табл. 3.2).

Таблиця 3.1. Вихідні дані до розрахунку придатності води для водопостачання селища

№ варіанту	Вміст катіонів, мг/дм <sup>3</sup>			Вміст іонів, мг/дм <sup>3</sup>		
	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	56,3	25,8	112,3	317,8	205	157,5
2	78,4	26,1	83,1	255,6	280,5	194,4
3	90,2	23,5	90,3	290,3	249,6	151,5
4	83,3	29,6	177,3	371,8	120,1	208,5
5	276,5	23,4	90,6	446,4	96,6	224,8
6	181,6	27,6	96,7	260,7	311,5	233,4
7	245,5	11,8	161,3	397,9	146,8	139,1
8	152,4	13,6	168,4	356,1	55,5	163,7
9	254,3	15,1	169,6	311,3	60,4	164,8
10	168,7	21,3	82,8	340,9	118,6	201,8

2. Якщо підземна вода відноситься до категорії умовно придатної, то визначити, за якими макрокомпонентами вона перевищує діючі нормативні значення та у скільки разів. Для розрахунку жорсткості води використовувати формулу:

$$Ж = \frac{C(Ca^{2+})}{[Ca^{2+}]} + \frac{C(Mg^{2+})}{[Mg^{2+}]} = \frac{C(Ca^{2+})}{[20,04]} + \frac{C(Mg^{2+})}{[12,16]}, \text{ мг} \cdot \text{екв/дм}^3. \quad (3.1)$$

де С – вміст речовини, мг/дм<sup>3</sup>

3. Розрахувати за даними таблиці 3.2 об'єм води (м<sup>3</sup>/доба), що необхідно для забезпечення мешканців населеного пункту, якщо в середньому в будинку мешкає 4 людини, та поливу присадибної ділянки.

Таблиця 3.2 - Вихідні дані до розрахунку водопостачання населеного пункту

№ вар.	Кількість мешканців, чол.	Площа присадибної ділянки, га	Норма водопостачання на 1 мешканця, м <sup>3</sup> /доба	Норма поливу, м <sup>3</sup> /га	Дебіт свердловин, м <sup>3</sup> /год.
1	760	0,5	1,1	2,10	30
2	820	0,5	1,0	1,78	32
3	1100	0,5	1,1	1,69	55
4	960	0,5	1,2	1,84	41
5	860	0,5	1,3	1,65	40
6	680	0,5	1,0	1,78	34
7	820	0,5	1,2	1,67	42
8	660	0,5	1,3	1,90	31
7	720	0,5	1,0	1,65	42
8	880	0,5	1,1	1,87	41
9	940	0,5	1,2	1,96	45
10	720	0,5	1,3	1,85	42
11	840	0,5	1,0	1,67	41
12	1040	0,5	0,9	2,1	44

4. Встановити кількість свердловин, що треба пробурити для водопостачання селища, враховуючи додаткову свердловину(на період аварії чи ремонту основної або на перспективу розвитку населеного пункту).



## **Практична робота №4**

### **Визначення положення кар'єру з урахуванням гідрогеологічних умов території**

При проектуванні, будівництві та експлуатації будівель, споруд, виробок, кар'єрів важливо мати інформацію про положення рівня першого від поверхні водоносного горизонту та його коливання (зміни) з часом і в просторі. Для виявлення характеру поверхні (дзеркала) ґрунтових підземних вод складають карти гідроізогіпс.

Гідроізогіпси – це плавні лінії, що з'єднують точки з однаковими абсолютними позначками рівня підземних безнапірних вод. Отже, гідроізогіпси можна розглядати як лінії перетину поверхні підземних вод горизонтальними площинами, що проводяться з певним кроком. Гідроізогіпси аналогічні горизонталям рельєфу і відображують поверхню безнапірних підземних вод.

#### **Завдання до практичної роботи №4:**

1. Побувати схему розташування свердловин в масштабі 1:1000 і скласти карту гідроізогіпс
2. На схемі встановити контури можливого розташування кар'єру з видобутку будівельної сировини, якщо його глибина не повинна перевищувати 20м, та встановити площу гірничого відводу.

#### **Порядок виконання роботи:**

1. Біля свердловин в дужках поставити глибину до водоносного горизонту.
2. Всі свердловини з'єднуються лініями так, щоб вони утворювали трикутники з близькими довжинами сторін, тобто трикутники повинні бути наближеними до рівносторонніх або рівнобедрених.
3. Сторони трикутників розділяються на пропорційні відрізки, визначається положення гідроізогіпс з різним перерізом. Переріз гідроізогіпс повинен бути 2 м
4. Гідроізогіпси проводяться шляхом з'єднання однакових значень глибини залягання підземних вод на різних сторонах трикутників.
5. Для побудови карт в ізолініях використовуються палетки, які виконують на кальці. Приклад такої палетки наведений на рис. 4.1
6. Встановити положення кар'єру з видобутку будівельної сировини на схемі, враховуючи, що глибина кар'єру не повинна перевищувати 20 м.
7. Розрахувати площу гірничого відводу кар'єру

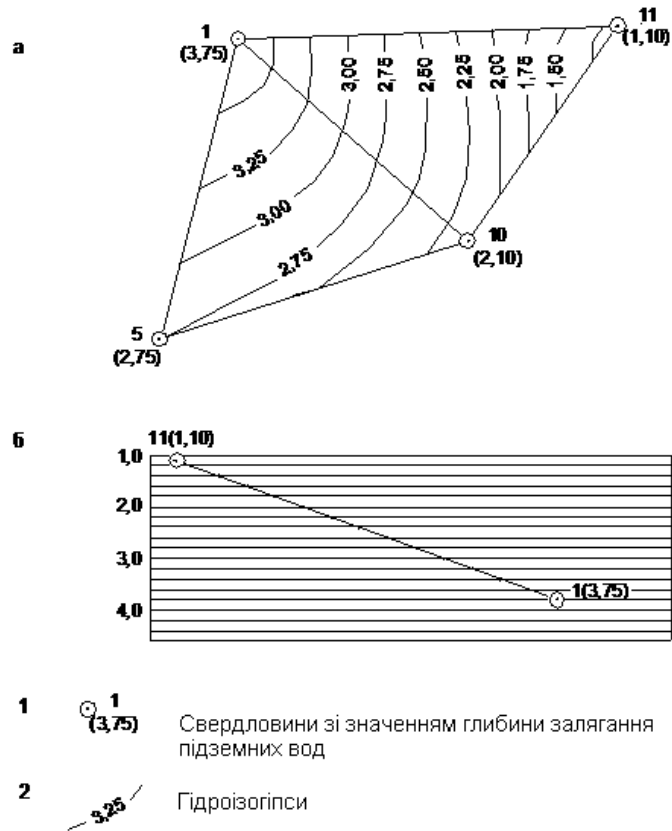


Рисунок 4.1 – Приклад палетки для побудови карти гідроізогіпс

Вихідні дані до виконання роботи надані в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до виконання роботи

№ свердловин	Координати свердловин, м		Глибина залягання водоносного горизонту в свердловинах (за варіантом), м									
	X	Y	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>	Z <sub>7</sub>	Z <sub>8</sub>	Z <sub>9</sub>	Z <sub>10</sub>
1	48	122	-18	-18	-20	-18	-20	-18	-22	-20	-16	-17
2	96	107	-26	-26	-26	-24	-26	-22	-24	-24	-26	-24
3	115	73	-20	-20	-20	-18	-16	-24	-18	-16	-20	-18
4	108	34	-15	-18	-26	-20	-22	-20	-22	-26	-22	-20
5	74	12	-22	-22	-18	-20	-22	-18	-20	-22	-18	-20
6	35	21	-16	-14	-16	-15	-16	-17	-15	-16	-18	-16
7	9	46	-19	-17	-18	-19	-17	-19	-18	-17	-16	-20
8	4	74	-25	-26	-22	-24	-25	-26	-22	-24	-25	-26
9	16	106	-27	-25	-26	-26	-24	-27	-24	-26	-27	-24
10	66	55	-40	-38	-42	-40	-42	-38	-44	-40	-42	-41



## Практична робота №5

### Землетруси як фактори прояву інженерно-геологічних процесів

Землетрус – це раптове звільнення потенційної енергії земних надр у вигляді пружних подовжніх і поперечних хвиль, які розповсюджуються по всіх напрямках. Виникаючі коливання й деформації земної кори часто приводять до катастрофічних переміщень земної поверхні.

**Сила землетрусу** залежить від кількості енергії, яка виділилася в області осередку землетрусу (гіпоцентрі). **Гіпоцентром** (або фокусом) землетрусу називають умовний центр осередку на глибині, а **епіцентром** – проекцію гіпоцентру на поверхню Землі. Осередок землетрусу завжди має деякий об'єм, тому на поверхні створюється зона максимальної сили землетрусу, яка має назву **плейстосейстова область**. Поверхня, у всіх точках якої сила землетрусу однакова, називається **ізосейсмічною поверхнею**.

При перетинанні поверхні Землі, ізосейсмічні поверхні утворюють лінії, що мають назву **ізосейсти**, які з'єднують точки рівних струсів під час даного землетрусу. Основними характеристиками землетрусів є **глибина осередку, магнітуда та інтенсивність** енергії на поверхні Землі.

**Глибина осередку** землетрусу, звичайно, перебуває в межах від 10 до 30 км, а в деяких випадках вона може бути значно більша (300-700 км).

**Магнітуда** характеризує загальну енергію землетрусу і є десятковим логарифмом амплітуди найбільшого коливання земної кори, яке зафіксоване при проходженні сейсмічної хвилі того або іншого типу, з внесенням стандартної поправки, що враховує відстань від епіцентру. Розрізняють 3 види магнітуди: ріхтеровську (локальну) магнітуду  $M_L$ , магнітуду по об'ємних подовжніх хвилях  $M_b$  і магнітуду по поверхових хвилях  $M_s$ . Магнітуда, за Ч. Ріхтером, вимірюється від 0 до 9. Магнітуда 0 означає землетрус із максимальною амплітудою 1 мкм на відстані 100 км від епіцентру. При магнітуді, що дорівнює 5, спостерігаються невеликі руйнування будівель. Спустошливий поштовх має магнітуду 7. Найсильніші з зареєстрованих землетрусів досягають величини 8,5-8,9 за шкалою Ріхтера. В даний час оцінка землетрусів у магнітудах застосовується частіше, ніж у балах.


**Інтенсивність** – це якісний показник наслідків землетрусів, що характеризує розмір збитку, кількість жертв і психогенне сприйняття людьми наслідків землетрусів. У країнах СНД використовується 12-бальна шкала інтенсивності Медведєва-Спонейера-Карника (MSK-64). Згідно цій шкалі, прийнята наступна градація інтенсивності землетрусів:

I-III бали – *слабі*;

IV-V – *відчутні*;

VI-VII - *сильні* (руйнуються ветхі споруди);

VIII – *руйнівні* (частково руйнуються міцні будівлі, падають фабричні труби);


- 
- IX - *спустошливі* (руйнується більшість будівель);
  - X - *знищуючі* (руйнуються мости, виникають зсуви та обвали);
  - XI - *катастрофічні* (руйнуються всі споруди, змінюється ландшафт);
  - XII - *згубні катастрофи* (викликають зміни рельєфу місцевості на великій території).

Щорічно на Землі відбувається від 300 до 500 землетрусів силою 7 балів і вище, із яких, в середньому, один землетрус є катастрофічним і десять сильно руйнівних. Першість за кількістю землетрусів утримують Японія та Чилі – понад 1000 у рік, або 3 на добу. Землетруси переважно відбуваються у вигляді серії поштовхів, головний з яких, має найбільшу магнітуду. Сила, число та тривалість поштовхів суто індивідуальна для кожного землетрусу. Землетруси небезпечні тим, що вони відносяться до **швидкодіючих геологічних процесів**. Помітний струс поверхні землі від головного поштовху триває від 30 до 60 с, або навіть до 3-4 хв. Більш слабкі поштовхи можуть тривати з інтервалами в декілька діб, тижнів, місяців та навіть років.

Геофізики виділяють два головних сейсмічних пояси Землі – *Середземноморський*, що охоплює південь Євразії від Португалії до Малайського архіпелагу, та *Тихоокеанський*, що облямовує береги Тихого океану. Вони включають молоді гірські пояси – Альпи, Апенніни, Карпати, Кавказ, Гімалаї, Крим, Кордильєри, Анди, а також рухомі зони підводних країн материків.

**Землетрус - це лихо з прямою і непрямою (вторинною) дією на природне середовище у вигляді обвалів, цунамі, снігових лавин тощо.** Воно викликає величезне число жертв і великі матеріальні збитки. По числу жертв землетруси поступаються тільки повеням і ураганам. За даними Геологічного товариства США, найстрашніший землетрус в історії людства відбувся в 1556 р. в Китаї. Точна кількість жертв невідома, проте вважається, що загинуло більше 830 тис. чоловік. Усього в ХХ ст. в результаті землетрусів загинуло не менше 800 тис. чоловік.

Екологічні наслідки від землетрусу залежать від сили сейсмічних хвиль, що досягають поверхні, частоти, типу й тривалості сейсмічних коливань, від конструктивних особливостей будівлі, типу і стану ґрунту основи. Виключно важким по своїх соціально-економічних наслідках був Спітакський (9-10 балів за шкалою MSK) землетрус 7 грудня 1988 р., коли число загиблих перевищило 25 тис. чоловік, а збитки склали понад 8 млрд. крб. Сильні землетруси призводять до серйозних змін природного середовища. **Еколого-геологічні наслідки виражаються перш за все в зміні топографії земної поверхні в результаті зміни конфігурації вододільних поверхонь і гірських хребтів, утворенні нових прибережних і підводних рівнин, утворенні грабенів і ровів, тріщин із значним розтягуванням тощо.**




При Гобі-Алтайському 12-бальному землетрусі в 1957 р. хребет Гурван-Сайхан висотою до 4 тис. м і протяжністю в 257 км був піднятий і зсунутий на схід. Утворилися численні розривні порушення, грабени шириною від 800 м до 3,5 км, тектонічні рови з глибиною до 19 м, вододільна ділянка р. Бітут протяжністю 3 км і шириною 1,1 км опустилася на 328 м. До числа найсильніших землетрусів нашого часу відносяться події, що відбулися 14 листопада 2001 р. в горах Куньлунь, на південному заході Тибету. В результаті поштовху, магнітуда якого досягала рідкісної величини 8,1 за шкалою Ріхтера, утворився розрив у земній корі, довжина якого на поверхні перевищувала 400 км.

До теперішнього часу ще не вдається надійно передбачити місце, час і силу землетрусів, а оцінка вірогідності майбутніх поштовхів, особливо сильних, в багатьох регіонах виявляється далекою від реальності. Це підсилюється швидким зростанням міського населення, особливо в країнах, що розвиваються, де якість проектів і будівництва, дотримання будівельних норм, надійність оцінки сейсмічної безпеки дуже низькі. В результаті число жертв землетрусів рівної сили в містах, що розташовані в розвинутих країнах, у сотні раз менше, наприклад, при двох землетрусах у густонаселеній Каліфорнії (Ломо-Пріета, 1989 р. і Нортрідж, 1994 р.) загинули 130 чоловік, а при двох поштовхах такої саме сили у Вірменії (Спітак, 1988 р.) загинуло більше 25 тис. чоловік та на Сахаліні (Нафтогорськ, 1995 р.) – більше 2 тис. чоловік. Але і в розвинутих країнах землетруси руйнують дороги, мости і найнадійніші будівлі зі сталевим каркасом, переривають подачу води та електроенергії, викликають вибухи й пожежі.

Один із недавніх і вражаючих прикладів – Каліфорнійський землетрус 17 січня 1994 р. з магнітудою 6,8 і епіцентром у Нортріджі поблизу Лос-Анджелеса. При поштовху загинули 63 людини. Але за рівнем завданого збитку (понад 30 млрд. доларів) цей землетрус став "найдорожчим" за всю історію США. При поштовху були зафіксовані неймовірно високі вертикальні й горизонтальні прискорення коливань, а велика частина аварій була пов'язана з розрідженням ґрунтів і зсувами.

По сейсмічному районуванню України близько 120 тис. км<sup>2</sup> її території з населенням понад 11 млн. чоловік знаходиться в зоні можливих землетрусів силою 6-9 балів (за шкалою MSK). У XX ст. найбільш руйнівні землетруси на території України (7-8 балів за шкалою MSK) були зафіксовані в 1927 р. на південному березі Криму в Ялті (епіцентр – у Чорному морі); в 1977 та 1986 рр. – на півдні Одеської області (епіцентр – у Східних Карпатах, на території Румунії) Сейсмоактивні зони (Закарпатська, Карпатська - гори Вранча, Кримсько-Чорноморська та Південно-Азовська) оточують Україну з півдня та південного заходу.

**Закарпатська зона** характеризується проявом землетрусів, які відбуваються у верхній частині земної кори на глибинах 6-12 км з інтенсивністю в епіцентрі 7 балів, що швидко затухає на близькій відстані.



Найбільші землетруси, вплив яких відчувається на значній частині території України, мають епіцентри у двох сейсмічно активних зонах Кримсько-Чорноморській та Карпатській (гори Вранча), які розташовані на ділянці стику Південних (Румунія) та Східних (Українських) Карпат.

**Карпатська зона** характеризується виникненням землетрусів на великих глибинах, що спричиняють землетруси в епіцентрі в Румунії, Болгарії та Молдові, силою до 7 – 8 балів. Глибокофокусність землетрусів зони Вранча обумовлює їх слабе затухання з відстанню, тому більша частина території України перебуває в 4 – 6-бальній зоні впливу Карпатської сейсмоактивної зони.

**Кримсько-Чорноморська зона** характеризується виникненням землетрусів на глибинах від 10-12 до 20-30 км та на відстані 25-40 км від узбережжя Кримського півострова. Інтенсивність землетрусів може досягати 8 - 9 балів. У сейсмічному плані найбільш небезпечними областями в Україні є Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, Одеська та АР Крим.

Техногенна діяльність людини за останні роки призвела до суттєвої знижки сейсмічної стійкості понад 70% території України та збільшила сейсмонебезпеку за рахунок стимуляції схилових гравітаційних процесів, розвитку техногенного карсту, підтоплення тощо. Найбільше знизилась сейсмостійкість ґрунтів на півдні України, де приріст сейсмічності в Одеській, Миколаївській та Херсонській областях складає від 1 до 3 балів, а загальна небезпека підвищилась до 8 балів. В Донецькій й Луганській областях приріст у 2 бали збільшив сейсмонебезпеку до 6 – 7 балів.

У раніше сейсмічно спокійних Дніпропетровській, Запорізькій та Кіровоградській областях приріст сейсмічності в 3 бали призвів до високої й стійкої сейсмонебезпеки у 8 балів. Сейсмічність у західних областях України також піднялась: у Прикарпатті – до 9 балів та у Рівненській області, де розташована Рівненська АЕС – до 8 балів (при нормативі для зони розташування атомних електростанцій в 4-5 балів). Зростання сейсмічності на 2 бали призвело до того, що навіть на території м. Києва сейсмонебезпека в даний час складає 7 балів.

### **Завдання до практичної роботи №5:**

1. Знайти в Інтернеті та ознайомитися з 10-бальною шкалою Ч. Ріхтера і 12-бальною шкалою (MSK-64) і скласти 2 таблиці інженерно-геологічних наслідків землетрусів різної інтенсивності.
2. Зробити аналіз цих таблиць і показати різницю у наслідках землетрусів за різними шкалами.
3. Для землетрусів інтенсивністю більше 7 балів навести приклади з Інтернету з посиланнями на сайт.



## **Практична робота №6**

### **Вивчення нормативних документів щодо проведення інженерно-геологічних вишукувань в складних умовах**

#### **Завдання до практичної роботи №6:**

Ознайомитися зі структурою і змістом ДБН А.2.1-1-2014 «ІНЖЕНЕРНІ ВИШУКУВАННЯ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА» і відповісти на наступні запитання:

1. Яка мета проведення інженерно-геологічних досліджень при будівництві?
2. Від яких факторів залежать види і об'єм інженерно-геологічних робіт?
3. Які роботи виконують для оцінки вивченості території?
4. Які види робіт входять в склад рекогносцирувальних?
5. Для чого проводяться геофізичні дослідження?
6. З якою метою виконують бурові і прохідницькі роботи?
7. Які вимоги існують до планування гірничих виробок на ділянках огорожуваних і водорегульованих дамб накопичувачів рідких відходів і хвостосховищ?
8. Яка кількість гірничих виробок повинна бути на полях фільтрації?
9. Які роботи входять до складу геотехнічних вишукувань?
10. Для чого проводяться польові дослідницькі роботи?
11. Для чого здійснюють геотехнічні вишукування у процесі будівництва?
12. Що є об'єктом інженерно-гідрогеологічних вишукувань для будівництва?
13. Як проявляється вплив підземних вод на зміни міцнісних та деформаційних властивостей ґрунтів?
14. Які техногенні чинники підтоплення території?
15. За якими факторами встановлюють категорії стійкості територій відносно карстових провалів?
16. Який комплекс польових і лабораторних робіт виконують у районах розвитку суфозійних процесів?
17. Для чого виконують маршрутні спостереження у районах розвитку зсувних процесів?
18. Який комплекс показників визначає складні інженерно-геологічні умови?
19. Які графічні додатки повинен містити звіт з інженерно-геологічних вишукувань?
20. Які геофізичні методи застосовують для виявлення зсувних процесів?
21. Який комплекс польових і лабораторних робіт виконують у місцях розвитку суфозійних явищ?

## Практична робота №7

### Розрахунки берегових деформацій на рівнинних річках

Денудаційна робота річок здійснюється у формі ерозійної і транспортуючої їх діяльності. Розрізняють глибинну (донну) і бічну ерозії. Перший вид її виявляється у поглибленні русла за рахунок руйнування порід, з яких складається ложе річки. Другий вид ерозії полягає у руйнуванні (бічному підмиві) водняним потоком крутих бортів його долини, унаслідок чого відбувається її поступове розширення. Це особливо проявляється під час повені, коли швидкість і ступінь турбулентності руху потоку різко збільшується, особливо в приповерхневій його частині, що зумовлює поперечну циркуляцію. Завихрення води, які при цьому виникають у придонному шарі, сприяють активному розмиву дна і частина донних наносів переміщується до берега. Накопичення останніх спричиняє зміну форми поперечного перетину русла, що призводить до порушення прямолінійності потоку та зміщення течії до одного з берегів. Таким чином виникають берегові деформації і починається інтенсивний розмив одного берега та накопичення наносів біля протилежного, що сприяє утворенню вигинів русла ріки. Механізм цього процесу здійснюється за рахунок багаторазових вигинів (меандрування) русла в межах плоскої, донної частини долини (рис. 7.1). Меандрування притаманне рівнинним річкам, гірські річки меандрують під час виходу у долину, де швидкість їх різко зменшується.

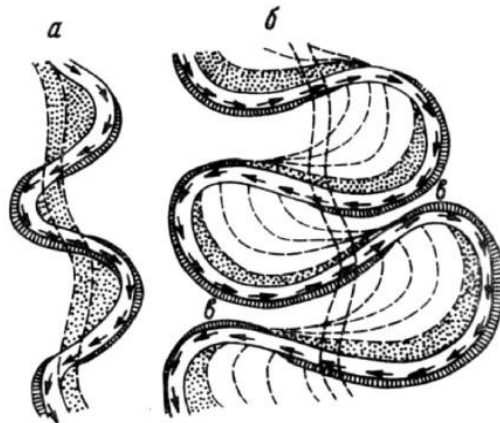


Рисунок 7.1 – Схема розвитку річкових меандр: а – початкова стадія; б – послідовне положення в більш пізніх стадіях розвитку долини річки; в – вузькі перешийки меандр, при розриві яких утворюються стариці

Оскільки берегові деформації призводять до виникнення або посилення небезпечних інженерно-геологічних процесів – активізації зсувів, суфозії, підтопленням тощо, їх обов'язково оцінюють і враховують при проведенні будь-яких робіт біля річок, особливо при будівництві будинків та споруд різного призначення.

## Розрахунки берегових деформацій

Величина переміщення брівки берега  $X$ , м, за одну повінь у розрахунковому створі визначається за формулою (7.1):

$$X = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{\rho_w}{\rho} \cdot \frac{(\bar{H} + h_1)}{(H + h)} \cdot (B - 2 \cdot B_1), \text{ м} \quad (7.1)$$

де:  $k_1$  – коефіцієнт асиметрії русла;

$k_2$  – коефіцієнт розмивання берега;

$k_3$  – коефіцієнт зволоження ґрунтів берега;

$\rho_w$  – щільність води (зазвичай  $\rho_w = 1,0 \text{ т/м}^3$ );

$\rho$  – щільність ґрунту,  $\text{т/м}^3$ ;

$H$  – найбільша глибина, м;

$\bar{H}$  – середня глибина русла, м;

$h$  – висота берега, м;

$h_1$  – висота піку повені, м;

$B$  – повна ширина русла, м;

$B_1$  – ширина частини русла від лінії найбільших глибин потоку до берега, що розмивається, м.

Коефіцієнт асиметрії русла визначається за формулою (7.2):

$$k_1 = \left( \frac{B_1}{B - B_1} \right)^2, \quad (7.2)$$

Коефіцієнт розмивання берега розраховується за формулою (7.3):

$$k_2 = \frac{\left[ (h_1 - h_0) + \frac{t_1}{t} \cdot (h_0 - h_2) \right]}{2 \cdot h}, \quad (7.3)$$

де:  $h_0$  – висота рівня води при розтині крижаного покриву, м;

$h_2$  – висота рівня води по закінченні повені, м;


$t$  – тривалість періоду від розтину річки до закінчення повені, доба;

$t_1$  – тривалість підйому повені від часу розтину крижаного покриву до настання піку повені, доба.

На річках, де крижаний покрив не утворюється, параметр  $h_0$  визначається як рівень, що відповідає початку повені. У цьому випадку тривалість підйому рівня  $t_1$  і тривалість всього періоду повені  $t$  слід вимірювати від фактичного початку повені.

Коефіцієнт зволоження ґрунтів берега знаходиться за формулою (7.4):

$$k_3 = \frac{h_1}{h}, \quad (7.4)$$



Величина щільності ґрунтів  $\rho$  у формулі (1) характеризує середню щільність, отриману для всього берегового схилу.

Розрахунки берегових деформацій за формулою (1) обмежуються умовами, коли  $2 \cdot B_1 < B$ .

Для оцінки середньої багаторічної величини відступу брівки берега  $\bar{X}$ , м/рік, використовується формула (7.5):

$$\bar{X} = m \cdot B \cdot q_{\text{сер}} \cdot \frac{\rho_w}{\rho} \cdot \frac{\bar{H} + h_1}{H + h}, \quad (7.5)$$

де  $q_{\text{сер}}$  – середня величина параметра  $q$  за роки спостережень.

Параметр  $q$  розраховується за формулою (7.6):

$$q = k_2 \cdot k_3, \quad (7.6)$$

Параметр  $m$  розраховується за формулою (7.7):

$$m = k_1 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot B_1}{B}\right), \quad (7.7)$$

Прогнозна середня величина відступу брівки берега на заданий термін знаходиться за формулою (7.8):

$$\bar{X}_{\text{п}} = m \cdot B \cdot T \cdot q_{\text{сер}} \cdot \frac{\rho_w}{\rho} \cdot \frac{\bar{H} + h_1}{H + h}, \quad (7.8)$$

де  $T$  – період, роки.

Формулу (7.8) рекомендується використовувати для прогнозу відступу брівки берега на строк від трьох років і на весь розрахунковий період експлуатації споруд, що зводяться в прирусловій зоні.

За період прогнозу лінія максимальних глибин може зміститися, що, у свою чергу, позначиться на величині  $B$ , врахувати ці зміни можна ввівши у формулу (7.8) додатковий вираз  $2,6 \cdot B_1/B$ , тоді отримаємо формулу (7.9) для визначення величини відступу брівки берега при довгостроковому прогнозі  $X_{\text{д.п.}}$ , м:

$$X_{\text{д.п.}} = \frac{2,6 \cdot \bar{X}_{\text{п}} \cdot B_1}{B}, \quad (7.9)$$

При вирішенні інженерних завдань нерідко виникає потреба у отриманні максимальної прогнозованої величини відступу брівки берега за 1-5 років. У таких випадках розрахунки необхідно проводити з урахуванням високих повеней на річках. Таке врахування досягається заміною у формулі (7.8) середньої багаторічної величини піку повені  $h_1$  на максимальний рівень  $h_{\text{max}}$ , що спостерігався протягом спостережень. Тоді отримаємо формулу (7.10) для визначення величини відступу брівки берега при короткостроковому прогнозі  $X_{\text{к.п.}}$ , м:

$$X_{к.п.} = m \cdot B \cdot q_1 \cdot \frac{\rho_w}{\rho} \cdot \frac{H + h_{max}}{H + h} \quad (10)$$

Параметр  $q_1$  можна знайти за формулою (7.11):

$$q_1 = \frac{h_{max} \cdot \left[ (h_{max} - \bar{h}_0) + \left( \frac{\bar{t}_1}{\bar{t}} \right) \cdot (\bar{h}_0 - \bar{h}_2) \right]}{2 \cdot h^2} \quad (11)$$

### Приклад розрахунків

Розрахунки зроблені для ділянки великої річки, що розвивається за типом вільного меандрування. У межах розрахункового створу розмиву піддається увігнутий берег, що відноситься до високої заплави і складений пухкими суглинистими породами. Берег має висоту до 6-7 м і круто обривається у воду.

Для того щоб дати висновок про можливі берегові деформації, були отримані та проаналізовані такі матеріали:

- карти – топографічна в масштабі 1:100000 та лоцманська в масштабі 1:50000;

- результати промірів глибин через усе основне русло річки розрахунковим створом, що супроводжувалися нівелюванням берегового схилу;

- відомості про рівневий режим річки за найближчим водомірним постом за 5 років;

- відомості про геолого-літологічну будову берега та фізико-механічні властивості порід.

На підставі аналізу зазначених матеріалів були отримані вихідні параметри (табл. 7.1) для вирішення наступних завдань:

- обчислення показників відступу брівки берега за кожний з п'яти попередніх років. Для цього використовувалася формула (7.1). Результати розрахунків наведені в табл. 7.2;

- прогнозна оцінка середньої багаторічної швидкості розмиву берега. Для вирішення була застосована формула (5);

- встановлення максимальної величини можливого розмиву берега протягом року. Для цього використовувалася формула (10). При розрахунках враховувався максимальний рівень води в повені за попередній період спостережень, він відзначений у третьому році (див. табл. 7.1), результат також наведено в табл. 7.2;

- визначення величини відступу брівки берега при довгостроковому прогнозі на 10 років. Для цього використовувалася формула (9).

Таблиця 7.1 – Вихідні дані для розрахунків (приклад)

Параметр	Позначення	Роки					Середнє
		1	2	3	4	5	
Повна ширина русла, м;	$B$	600	600	600	600	600	600
Ширина частини русла від лінії найбільших глибин потоку до берега, що розмивається, м	$B_1$	100	100	100	100	100	100
Найбільша глибина, м;	$H$	10	10	10	10	10	10
Середня глибина русла, м	$\bar{H}$	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
Висота берега, м	$h$	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Висота піку повені	$h_1$	5,0	4,0	7,0	5,0	6,0	5,4
Висота рівня води при розтині крижаного покриву, м	$h_0$	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	1,0
Висота рівня води по закінченні повені, м	$h_2$	-1,0	-1,0	-2,0	-1,0	-1,0	-1,2
Тривалість періоду від розтину річки до закінчення повені, доба	$t$	100	80	110	105	95	98
Тривалість підйому повені від часу розтину крижаного покриву до настання піку повені, доба	$t_1$	43	37	40	38	42	40
Щільність ґрунту, т/м <sup>3</sup>	$\rho$	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Термін експлуатації споруди, років	$T$	-	-	-	-	-	10,0

Таблиця 7.2 – Розрахункові параметри (приклад)

Параметр	Позначення	Роки					Середнє
		1	2	3	4	5	
Коефіцієнт асиметрії русла	$k_1$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Коефіцієнт розмивання берега	$k_2$	0,45	0,37	0,59	0,34	0,44	0,44
Коефіцієнт зволоження ґрунтів берега	$k_3$	0,83	0,67	1,17	0,83	1,00	0,90
Проміжна величина	$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$	0,015	0,01	0,028	0,011	0,018	0,016
Параметр	$q$	0,37	0,25	0,69	0,28	0,44	0,41
Параметр	$q_1$	-	-	-	-	-	0,67
Проміжна величина	$\rho_w / \rho$	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
Проміжна величина, м	$\bar{H} + h_1$	11,6	10,6	13,6	11,6	12,6	12,0
Проміжна величина, м	$H + h$	16	16	16	16	16	16
Проміжна величина, м	$H + h_{max}$	-	-	17	-	-	-
Параметр	$m$	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
Переміщення брівки берега за одну повінь, м	$X$	2,48	1,51	5,43	1,81	3,23	2,89
Середня багаторічна величина відступу брівки берега, м/рік	$\bar{X}$	-	-	-	-	-	2,84
Максимальна прогнозна величина відступу брівки берега, м	$X_{к.п.}$	-	-	6,57	-	-	-
Величина відступу брівки берега при довгостроковому прогнозі, м	$X_{д.п.}$	-	-	-	-	-	12,31

### Розрахунки (приклад):

1. Коефіцієнт асиметрії русла (7.2):

$$k_1 = \left( \frac{B_1}{B - B_1} \right)^2 = \left( \frac{100}{600 - 100} \right)^2 = 0,04$$

2. Коефіцієнт розмивання берега для кожного року (7.3):

$$k_2^1 = \frac{[(h_1 - h_0) + \frac{t_1}{t} \cdot (h_0 - h_2)]}{2 \cdot h} = \frac{[(5 - 0) + \frac{43}{100} \cdot (0 - (-1))]}{2 \cdot 6} = 0,45,$$
$$k_2^2 = 0,37; k_2^3 = 0,59; k_2^4 = 0,34; k_2^5 = 0,44$$

3. Коефіцієнт зволоження ґрунтів берега для кожного року (7.4):

$$k_3^1 = \frac{h_1}{h} = \frac{5}{6} = 0,83$$
$$k_3^2 = 0,637; k_3^3 = 1,17; k_3^4 = 0,83; k_3^5 = 1,0$$

4. Розрахунок параметра  $q$  для кожного року (7.6):

$$q^1 = k_2^1 \cdot k_3^1 = 0,45 \cdot 0,83 = 0,37$$
$$q^2 = 0,25; q^3 = 0,69; q^4 = 0,28; q^5 = 0,44$$

5. Розрахунок параметра  $q_1$  (7.11):

$$q_1 = \frac{h_{max} \cdot \left[ (h_{max} - \bar{h}_0) + \left( \frac{\bar{t}_1}{\bar{t}} \right) \cdot (\bar{h}_0 - \bar{h}_2) \right]}{2 \cdot h^2}$$
$$= \frac{7 \cdot \left[ (7 - 1) + \left( \frac{40}{98} \right) \cdot (1 - (-1,2)) \right]}{2 \cdot 6^2} = 0,67$$

6. Розрахунок параметра  $m$  (7.7):

$$m = k_1 \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot B_1}{B} \right) = 0,04 \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot 100}{600} \right) = 0,027$$

7. Розрахунок величини переміщення брівки берега за одну повінь для кожного року (7.1):

$$X^1 = k_1^1 \cdot k_2^1 \cdot k_3^1 \cdot \frac{\rho_w}{\rho} \cdot \frac{(\bar{H} + h_1)}{(H + h)} \cdot (B - 2 \cdot B_1)$$
$$= 0,015 \cdot 0,57 \cdot \frac{11,6}{16} \cdot (600 - 2 \cdot 100) = 2,48$$

$$X^2 = k_1^2 \cdot k_2^2 \cdot k_3^2 \cdot \frac{\rho_w}{\rho} \cdot \frac{(\bar{H} + h_1)}{(H + h)} \cdot (B - 2 \cdot B_1)$$
$$= 0,015 \cdot 0,57 \cdot \frac{10,6}{16} \cdot (600 - 2 \cdot 100) = 1,51$$

$$X^3 = 5,43; X^4 = 1,81; X^5 = 3,23.$$

8. Розрахунок середньої багаторічної величини відступу брівки берега (7.5):

$$\bar{X} = m \cdot B \cdot q_{\text{сер}} \cdot \frac{\rho_w}{\rho} \cdot \frac{\bar{H} + h_1}{H + h} = 0,027 \cdot 600 \cdot 0,41 \cdot 0,57 \cdot \frac{12}{16} = 2,84.$$

9. Розрахунок максимальної прогнозованої величини відступу брівки берега за максимальною величиною рівня піку повені, яка спостерігалася на третьому році (див. табл. 7.1) (7.10):

$$X_{\text{к.п.}} = m \cdot B \cdot q_1 \cdot \frac{\rho_w}{\rho} \cdot \frac{H + h_{\text{max}}}{H + h} = 0,027 \cdot 600 \cdot 0,67 \cdot 0,57 \cdot \frac{17}{16} = 6,57.$$

10. Розрахунок прогнозованої середньої величини відступу брівки берега на заданий термін – 10 років (7.8):

$$\bar{X}_{\text{п}} = m \cdot B \cdot T \cdot q_{\text{сер}} \cdot \frac{\rho_w}{\rho} \cdot \frac{\bar{H} + h_1}{H + h} \rightarrow \bar{X} \cdot T = 2,84 \cdot 10 = 28,4.$$

11. Розрахунок довгострокового прогнозу величини відступу брівки берега (7.9):

$$X_{\text{д.п.}} = \frac{2,6 \cdot \bar{X}_{\text{п}} \cdot B_1}{B} = \frac{2,6 \cdot 28,4 \cdot 100}{600} = 12,31$$

**Висновок:** Середньорічний розмив берега річки складає 2,84 м/рік, причому при максимальній повені він сягає 6,57 метрів. На довгостроковий період (10) років очікується відступання брівки берега на 1,2,3 м, що треба враховувати при розміщенні технічних об'єктів та споруд, а також при прогнозуванні розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів – берегових зсувів, підтоплень тощо.

### **Завдання до практичної роботи №7:**

На підставі вихідних параметрів (табл. 7.3):

1. Визначити показники відступу брівки берега за кожний з п'яти попередніх років.
2. Зробити прогнозу оцінку середньої багаторічної швидкості розмиву берега.
3. Встановити максимальну величину можливого розмиву берега протягом року за максимальним рівнем води в повені.
4. Визначення величини відступу брівки берега при довгостроковому прогнозі на 10 років.
5. Заповнити таблицю 4 розрахункових параметрів.
6. Зробити висновок щодо динаміки розмиву берега річки.

Таблиця 7.3 – Вихідні дані для розрахунків (завдання)

Параметр	Позначення	Роки					Середнє
		1	2	3	4	5	
Повна ширина русла, м;	$B$	200	200	200	200	200	200
Ширина частини русла від лінії найбільших глибин потоку до берега, що розмивається, м	$B_1$	50	50	50	50	50	50
Найбільша глибина, м;	$H$	8	8	8	8	8	8
Середня глибина русла, м	$\bar{H}$	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Висота берега, м	$h$	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Висота піку повені	$h_1$	3	2,8	4,1	3,2	2,9	3,2
Висота рівня води при розтині крижаного покриву, м	$h_0$	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	1,0
Висота рівня води по закінченні повені, м	$h_2$	-1,0	-1,0	-2,0	-1,0	-1,0	-1,2
Тривалість періоду від розтину річки до закінчення повені, доба	$t$	70	65	83	85	72	75
Тривалість підйому повені від часу розтину крижаного покриву до настання піку повені, доба	$t_1$	40	32	43	50	45	42
Щільність ґрунту, т/м <sup>3</sup>	$\rho$	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
Термін експлуатації споруди, років	$T$	-	-	-	-	-	10,0

Таблиця 7.4 – Розрахункові параметри (завдання)

Параметр	Позначення	Роки					Середнє
		1	2	3	4	5	
Коефіцієнт асиметрії русла	$k_1$						
Коефіцієнт розмивання берега	$k_2$						
Коефіцієнт зволоження ґрунтів берега	$k_3$						
Проміжна величина	$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$						
Параметр	$q$						
Параметр	$q_1$	-	-	-	-	-	
Проміжна величина	$\rho_w/\rho$						
Проміжна величина, м	$\bar{H} + h_1$						
Проміжна величина, м	$H+h$						
Проміжна величина, м	$H+h_{max}$	-	-		-	-	-
Параметр	$m$						
Переміщення брівки берега за одну повінь, м	$X$						
Середня багаторічна величина відступу брівки берега, м/рік	$\bar{X}$	-	-	-	-	-	
Максимальна прогнозна величина відступу брівки берега, м	$X_{к.п.}$	-	-	-	-	-	-
Величина відступу брівки берега при довгостроковому прогнозі, м	$X_{д.п.}$	-	-	-	-	-	

Використана література:

Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства, М.: Стройиздат, 1987. – 72 с.

Додаток А

Вихідні дані до виконання практичної роботи № 1 за варіантами

Варіант 1	Шари (в абс. відмітках):			Варіант 2	Шари (в абс. відмітках):		
	Початок	Підошва	Опис ґрунту		Початок	Підошва	Опис ґрунту
Сврд. 1 (ліво-руч) 0 метрів	155	137	Суглинок	Сврд. 1 (праворуч) 0 метрів	140	135	Супесь
	137	122	Пісок		135	130	Суглинок
	122	115	Мергель		130	115	Пісок
	115	105	Вапняк		115	105	Піщаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Сврд. 2 (ліво-руч) 10 метрів	135	133	Зсувний ґрунт	Сврд. 2 (праворуч) 5 метрів	95	85	Вапняк
	133	122	Пісок		85	80	Глина
	122	114	Мергель		130	115	Пісок
	114	103	Вапняк		115	105	Піщаник
Сврд. 3 (ліво-руч) 30 метрів	103	100	Глина	Сврд. 3 (праворуч) 15 метрів	105	95	Мергель
	132	121	Зсувний ґрунт		95	85	Вапняк
	121	115	Мергель		85	80	Глина
	115	106	Вапняк		120	118	Зсувний ґрунт
Сврд. 4 (ліво-руч) 50 метрів	106	100	Глина	Сврд. 4 (праворуч) 30 метрів	118	115	Пісок
	131	116	Зсувний ґрунт		115	105	Піщаник
	116	115	Мергель		105	95	Мергель
	115	105	Вапняк		95	85	Вапняк
Сврд. 5 (ліво-руч) 65 метрів	105	100	Глина	Сврд. 5 (праворуч) 50 метрів	85	80	Глина
	117	110	Зсувний ґрунт		117	105	Зсувний ґрунт
	110	105	Вапняк		105	95	Мергель
Сврд. 6 (ліво-руч) 75 метрів	107	95	Зсувний ґрунт	Сврд. 6 (праворуч) 65 метрів	95	85	Вапняк
	110	105	Вапняк		85	80	Глина
Сврд. 7 (ліво-руч) 90 метрів	105	100	Глина	Сврд. 7 (праворуч) 75 метрів	107	95	Зсувний ґрунт
	104	101	Вапняк		95	85	Вапняк
				Сврд. 8 (праворуч) 82 метрів	85	80	Глина
					Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	102	92
Варіант 1		Варіант 2		Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів		92	85
с	1 тс/м <sup>2</sup>	с	1,1 тс/м <sup>2</sup>		85	80	Глина
φ	8°	φ	9°	88	86	Зсувний ґрунт	
γ	1,8 тс/м <sup>3</sup>	γ	1,75 тс/м <sup>3</sup>	86	85	Вапняк	
				85	80	Глина	
				92	86	Зсувний ґрунт	
				86	85	Вапняк	
				85	80	Глина	
				86	85	Зсувний ґрунт	
				85	80	Глина	

## Продовження додатку А

Варіант 3	Шари (в абс. відмітках):			Варіант 4	Шари (в абс. відмітках):			
	Початок	Підошва	Опис ґрунту		Початок	Підошва	Опис ґрунту	
Сврд. 1 (ліворуч) 0 метрів	155	137	Суглинок	Сврд. 1 (праворуч) 0 метрів	140	135	Супесь	
	137	122	Пісок		135	130	Суглинок	
	122	115	Мергель		130	115	Пісок	
	115	105	Вапняк		115	105	Піщаник	
Сврд. 2 (ліворуч) 5 метрів	105	100	Глина	Сврд. 2 (праворуч) 10 метрів	105	95	Мергель	
	135	122	Пісок		95	85	Вапняк	
	122	114	Мергель		85	80	Глина	
	114	103	Вапняк		120	115	Пісок	
Сврд. 3 (ліворуч) 10 метрів	103	100	Глина	Сврд. 3 (праворуч) 20 метрів	115	105	Піщаник	
	133	129	Зсувний ґрунт		105	95	Мергель	
	129	122	Пісок		95	85	Вапняк	
	122	115	Мергель		85	80	Глина	
Сврд. 4 (ліворуч) 30 метрів	115	106	Вапняк	Сврд. 4 (праворуч) 30 метрів	118	116	Зсувний ґрунт	
	106	100	Глина		116	115	Пісок	
	129	116	Зсувний ґрунт		115	105	Піщаник	
	116	115	Мергель		105	95	Мергель	
Сврд. 5 (ліворуч) 50 метрів	115	105	Вапняк	Сврд. 5 (праворуч) 50 метрів	95	85	Вапняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
	125	112	Зсувний ґрунт		117	105	Зсувний ґрунт	
	112	105	Вапняк		105	95	Мергель	
Сврд. 6 (ліворуч) 60 метрів	105	100	Глина	Сврд. 6 (праворуч) 65 метрів	95	85	Вапняк	
	118	115	Зсувний ґрунт		85	80	Глина	
	115	105	Вапняк		102	92	Зсувний ґрунт	
	105	100	Глина		92	85	Вапняк	
Сврд. 7 (ліворуч) 70 метрів	122	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 7 (праворуч) 75 метрів	85	80	Глина	
	115	105	Вапняк		88	86	Зсувний ґрунт	
	105	100	Глина		86	85	Вапняк	
	122	115	Зсувний ґрунт		85	80	Глина	
Сврд. 8 (ліворуч) 80 метрів	115	105	Вапняк	Сврд. 8 (праворуч) 82 метрів	92	86	Зсувний ґрунт	
	105	100	Глина		86	85	Вапняк	
	106	105	Зсувний ґрунт		85	80	Глина	
	105	100	Глина		92	86	Зсувний ґрунт	
Сврд. 9 (ліворуч) 90 метрів	105	100	Глина	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	86	85	Вапняк	
	Варіант 3				Варіант 4			
	с	1,2 тс/м <sup>2</sup>	с		1,1 тс/м <sup>2</sup>	85	80	Глина
	φ	7°	φ		6°	86	85	Зсувний ґрунт
γ	1,6 тс/м <sup>3</sup>	γ	1,85 тс/м <sup>3</sup>	85	80	Глина		

Продовження додатку А

Варіант 5	Шари (в абс. відмітках):			Варіант 6	Шари (в абс. відмітках):		
	Початок	Підошва	Опис ґрунту		Початок	Підошва	Опис ґрунту
Сврд. 1 (ліворуч) 0 метрів	155	137	Суглинок	Сврд. 1 (праворуч) 0 метрів	140	135	Супесь
	137	122	Пісок		135	130	Суглинок
	122	115	Мергель		130	115	Пісок
	115	105	Вапняк		115	105	Піщаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Сврд. 2 (ліворуч) 8 метрів	140	135	Суглинок	Сврд. 2 (праворуч) 8 метрів	95	85	Вапняк
	135	122	Пісок		85	80	Глина
	122	114	Мергель		135	130	Суглинок
	114	103	Вапняк		130	115	Пісок
Сврд. 3 (ліворуч) 15 метрів	103	100	Глина	Сврд. 3 (праворуч) 15 метрів	115	105	Піщаник
	133	129	Зсувний ґрунт		105	95	Мергель
	129	122	Пісок		95	85	Вапняк
	122	115	Мергель		85	80	Глина
Сврд. 4 (ліворуч) 20 метрів	115	106	Вапняк	Сврд. 4 (праворуч) 25 метрів	118	116	Зсувний ґрунт
	106	100	Глина		116	115	Пісок
	129	116	Зсувний ґрунт		115	105	Піщаник
	116	115	Мергель		105	95	Мергель
Сврд. 5 (ліворуч) 40 метрів	115	105	Вапняк	Сврд. 5 (праворуч) 40 метрів	95	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
	125	112	Зсувний ґрунт		110	95	Зсувний ґрунт
Сврд. 6 (ліворуч) 60 метрів	112	105	Вапняк	Сврд. 6 (праворуч) 60 метрів	95	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
	118	115	Зсувний ґрунт		105	92	Зсувний ґрунт
Сврд. 7 (ліворуч) 70 метрів	115	105	Вапняк	Сврд. 7 (праворуч) 75 метрів	92	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
	122	115	Зсувний ґрунт		88	86	Зсувний ґрунт
Сврд. 8 (ліворуч) 85 метрів	115	105	Вапняк	Сврд. 8 (праворуч) 82 метрів	86	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
	106	105	Зсувний ґрунт		92	86	Зсувний ґрунт
Сврд. 9 (ліворуч) 90 метрів	105	100	Глина	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	86	85	Зсувний ґрунт
	106	105	Зсувний ґрунт		85	80	Глина
	105	100	Глина		86	85	Зсувний ґрунт
Варіант 5		Варіант 6		Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	85	80	Глина
с	1,3 тс/м <sup>2</sup>	с	1 тс/м <sup>2</sup>		86	85	Вапняк
φ	8°	φ	9°		85	80	Глина
γ	1,8 тс/м <sup>3</sup>	γ	1,6 тс/м <sup>3</sup>	86	85	Зсувний ґрунт	
				85	80	Глина	

## Продовження додатку А

Варіант 7	Шари (в абс. відмітках):			Варіант 8	Шари (в абс. відмітках):		
	Початок	Підошва	Опис ґрунту		Початок	Підошва	Опис ґрунту
Сврд. 1 (ліворуч) 0 метрів	155	137	Суглинок	Сврд. 1 (праворуч) 0 метрів	140	135	Супесь
	137	122	Пісок		135	130	Суглинок
	122	115	Мергель		130	115	Пісок
	115	105	Вапняк		115	105	Піщаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Сврд. 2 (ліворуч) 15 метрів	145	135	Суглинок	Сврд. 2 (праворуч) 15 метрів	95	85	Вапняк
	135	122	Пісок		85	80	Глина
	122	114	Мергель		135	130	Суглинок
					130	115	Пісок
	114	103	Вапняк		115	105	Піщаник
Сврд. 3 (ліворуч) 20 метрів	103	100	Глина	Сврд. 3 (праворуч) 20 метрів	105	95	Мергель
	135	122	Зсувний ґрунт		95	85	Вапняк
	122	115	Мергель		85	80	Глина
	115	106	Вапняк		118	116	Зсувний ґрунт
	106	100	Глина		116	115	Пісок
Сврд. 4 (ліворуч) 30 метрів	133	116	Зсувний ґрунт	Сврд. 4 (праворуч) 35 метрів	115	105	Піщаник
	116	115	Мергель		105	95	Мергель
	115	105	Вапняк		95	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Сврд. 5 (ліворуч) 40 метрів	127	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 5 (праворуч) 50 метрів	117	105	Зсувний ґрунт
	115	105	Вапняк		105	95	Мергель
	105	100	Глина		95	85	Вапняк
Сврд. 6 (ліворуч) 60 метрів	125	112	Зсувний ґрунт	Сврд. 6 (праворуч) 60 метрів	85	80	Глина
	112	105	Вапняк		116	95	Зсувний ґрунт
	105	100	Глина		95	85	Вапняк
Сврд. 7 (ліворуч) 70 метрів	128	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 7 (праворуч) 75 метрів	85	80	Глина
	115	105	Вапняк		105	86	Зсувний ґрунт
	105	100	Глина		86	85	Вапняк
Сврд. 8 (ліворуч) 85 метрів	122	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 8 (праворуч) 82 метрів	85	80	Глина
	115	105	Вапняк		86	85	Зсувний ґрунт
Сврд. 9 (ліворуч) 90 метрів	105	100	Глина	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	85	80	Глина
	106	105	Зсувний ґрунт		92	86	Зсувний ґрунт
Варіант 7			Варіант 8				
с	1,3 тс/м <sup>2</sup>	с	1 тс/м <sup>2</sup>				
φ	10°	φ	8°				
γ	1,7 тс/м <sup>3</sup>	γ	1,65 тс/м <sup>3</sup>				

## Продовження додатку А

Варіант 9	Шари (в абс. відмітках):			Варіант 10	Шари (в абс. відмітках):		
	Початок	Підошва	Опис ґрунту		Початок	Підошва	Опис ґрунту
Сврд. 1 (ліворуч) 0 метрів	155	137	Суглинок	Сврд. 1 (праворуч) 0 метрів	140	135	Супесь
	137	122	Пісок		135	130	Суглинок
	122	115	Мергель		130	115	Пісок
	115	105	Вапняк		115	105	Піщаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Сврд. 2 (ліворуч) 10 метрів	145	135	Суглинок	Сврд. 2 (праворуч) 5 метрів	95	85	Вапняк
	135	122	Пісок		85	80	Глина
	122	114	Мергель		132	130	Суглинок
					130	115	Пісок
Сврд. 3 (ліворуч) 12 метрів	114	103	Вапняк	Сврд. 3 (праворуч) 8 метрів	115	105	Піщаник
	103	100	Глина		105	95	Мергель
	135	133	Зсувний ґрунт		95	85	Вапняк
	133	115	Мергель		85	80	Глина
Сврд. 4 (ліворуч) 20 метрів	115	106	Вапняк	Сврд. 4 (праворуч) 15 метрів	118	115	Зсувний ґрунт
	106	100	Глина		115	105	Піщаник
	133	116	Зсувний ґрунт		105	95	Мергель
	116	115	Мергель		95	85	Вапняк
Сврд. 5 (ліворуч) 35 метрів	115	105	Вапняк	Сврд. 5 (праворуч) 40 метрів	85	80	Глина
	105	100	Глина		117	105	Зсувний ґрунт
	125	112	Зсувний ґрунт		105	95	Мергель
Сврд. 6 (ліворуч) 60 метрів	112	105	Вапняк	Сврд. 6 (праворуч) 60 метрів	95	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Сврд. 7 (ліворуч) 70 метрів	115	105	Вапняк	Сврд. 7 (праворуч) 75 метрів	116	95	Зсувний ґрунт
	105	100	Глина		95	85	Вапняк
	122	115	Зсувний ґрунт		85	80	Глина
Сврд. 8 (ліворуч) 85 метрів	121	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 8 (праворуч) 80 метрів	115	92	Зсувний ґрунт
	115	105	Вапняк		92	85	Вапняк
Сврд. 9 (ліворуч) 90 метрів	105	100	Глина	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	85	80	Глина
	123	105	Зсувний ґрунт		108	90	Зсувний ґрунт
Варіант 9		Варіант 10		Сврд. 8 (праворуч) 80 метрів	86	85	Вапняк
с	1,4 тс/м <sup>2</sup>	с	1,3 тс/м <sup>2</sup>		85	80	Глина
φ	7°	φ	8°	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	86	85	Зсувний ґрунт
γ	1,7 тс/м <sup>3</sup>	γ	1,5 тс/м <sup>3</sup>		85	80	Глина

## Продовження додатку А

Варіант 11	Шари (в абс. відмітках):			Варіант 12	Шари (в абс. відмітках):		
	Початок	Підошва	Опис ґрунту		Початок	Підошва	Опис ґрунту
Сврд. 1 (ліворуч) 0 метрів	140	137	Суглинок	Сврд. 1 (праворуч) 0 метрів	138	135	Супесь
	137	122	Пісок		135	130	Суглинок
	122	115	Мергель		130	115	Пісок
	115	105	Вапняк		115	105	Піщаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Сврд. 2 (ліворуч) 3 метра	139	135	Суглинок	Сврд. 2 (праворуч) 3 метрів	95	85	Вапняк
	135	122	Пісок		85	80	Глина
	122	114	Мергель		137	131	Суглинок
					131	115	Пісок
114	103	Вапняк	115		105	Піщаник	
103	100	Глина	105		95	Мергель	
Сврд. 3 (ліворуч) 7 метрів	125	123	Зсувний ґрунт		95	85	Вапняк
	123	115	Мергель		85	80	Глина
	115	106	Вапняк		Сврд. 3 (праворуч) 10 метрів	125	122
	106	100	Глина	122		105	Піщаник
122	116	Зсувний ґрунт	105	95		Мергель	
116	115	Мергель	95	85		Вапняк	
Сврд. 4 (ліворуч) 20 метрів	115	105	Вапняк	85	80	Глина	
	105	100	Глина	Сврд. 4 (праворуч) 15 метрів	124	105	Зсувний ґрунт
	124	115	Зсувний ґрунт		105	95	Мергель
	115	105	Вапняк		95	85	Вапняк
105	100	Глина	85		80	Глина	
Сврд. 5 (ліворуч) 35 метрів	125	112	Зсувний ґрунт	Сврд. 5 (праворуч) 40 метрів	120	95	Зсувний ґрунт
	112	105	Вапняк		95	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Сврд. 6 (ліворуч) 50 метрів	105	100	Глина	Сврд. 6 (праворуч) 60 метрів	115	92	Зсувний ґрунт
					92	85	Вапняк
					85	80	Глина
Сврд. 7 (ліворуч) 70 метрів	122	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 7 (праворуч) 75 метрів	110	92	Зсувний ґрунт
	115	105	Вапняк		92	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Сврд. 8 (ліворуч) 85 метрів	121	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 8 (праворуч) 80 метрів	108	90	Зсувний ґрунт
	115	105	Вапняк		86	85	Вапняк
Сврд. 9 (ліворуч) 90 метрів	105	100	Глина	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	85	80	Глина
	123	105	Зсувний ґрунт		109	91	Зсувний ґрунт
Варіант 11	Варіант 12			85	91	85	Вапняк
с	1,1 тс/м <sup>2</sup>	с	1,4 тс/м <sup>2</sup>		85	80	Глина
φ	7°	φ	8°	85	109	91	Зсувний ґрунт
γ	1,8 тс/м <sup>3</sup>	γ	1,75 тс/м <sup>3</sup>		91	85	Вапняк
					85	80	Глина

## Продовження додатку А

Варіант 13	Шари (в абс. відмітках):			Варіант 14	Шари (в абс. відмітках):		
	Початок	Підошва	Опис ґрунту		Початок	Підошва	Опис ґрунту
Сврд. 1 (ліво- руч) 0 метрів	140	137	Суглинок	Сврд. 1 (пра- воруч) 0 метрів	138	136	Супесь
	137	122	Пісок		136	133	Суглинок
	122	115	Мергель		133	115	Пісок
	115	105	Вапняк		115	105	Піщаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Сврд. 2 (ліво- руч) 10 метрів	139	135	Суглинок	Сврд. 2 (пра- воруч) 3 метрів	95	85	Вапняк
	135	122	Пісок		85	80	Глина
	122	114	Мергель		137	136	Суглинок
	114	103	Вапняк		136	115	Пісок
	103	100	Глина		115	105	Піщаник
Сврд. 3 (ліво- руч) 20 метрів	138	135	Суглинок	Сврд. 3 (пра- воруч) 5 метрів	105	95	Мергель
	135	122	Пісок		95	85	Вапняк
	122	115	Мергель		85	80	Глина
	115	106	Вапняк		127	115	Зсувний ґрунт
	106	100	Глина		115	105	Піщаник
Сврд. 4 (ліво- руч) 30 метрів	122	116	Зсувний ґрунт	Сврд. 4 (пра- воруч) 15 метрів	105	95	Мергель
	116	115	Мергель		95	85	Вапняк
	115	105	Вапняк		85	80	Глина
	105	100	Глина		124	105	Зсувний ґрунт
Сврд. 5 (ліво- руч) 35 метрів	124	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 5 (пра- воруч) 40 метрів	105	95	Мергель
	115	105	Вапняк		95	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Сврд. 6 (ліво- руч) 50 метрів	125	112	Зсувний ґрунт	Сврд. 6 (пра- воруч) 60 метрів	120	95	Зсувний ґрунт
	112	105	Вапняк		95	85	Вапняк
Сврд. 7 (ліво- руч) 70 метрів	105	100	Глина	Сврд. 7 (пра- воруч) 75 метрів	85	80	Глина
	122	115	Зсувний ґрунт		115	92	Зсувний ґрунт
	115	105	Вапняк		92	85	Вапняк
Сврд. 8 (ліво- руч) 85 метрів	105	100	Глина	Сврд. 8 (пра- воруч) 80 метрів	85	80	Глина
	121	115	Зсувний ґрунт		114	92	Зсувний ґрунт
	115	105	Вапняк		92	85	Вапняк
Сврд. 9 (ліво- руч) 90 метрів	105	100	Глина	Сврд. 9 (пра- воруч) 90 метрів	85	80	Глина
	118	115	Зсувний ґрунт		113	90	Зсувний ґрунт
	115	105	Вапняк		86	85	Вапняк
Варіант 13		Варіант 14		85	80	Глина	
с	1,25 тс/м <sup>2</sup>	с	1,3 тс/м <sup>2</sup>	85	80	Глина	
φ	12°	φ	11°	110	91	Зсувний ґрунт	
γ	1,6 тс/м <sup>3</sup>	γ	1,8 тс/м <sup>3</sup>	91	85	Вапняк	
				85	80	Глина	

Продовження додатку А

Варіант 15	Шари (в абс. відмітках):			Варіант 16	Шари (в абс. відмітках):			
	Початок	Підошва	Опис ґрунту		Початок	Підошва	Опис ґрунту	
Сврд. 1 (ліворуч) 0 метрів	140	137	Суглинок	Сврд. 1 (праворуч) 0 метрів	145	142	Супесь	
	137	122	Пісок		142	140	Суглинок	
	122	115	Мергель		140	115	Пісок	
	115	105	Вапняк		115	105	Піщаник	
	105	100	Глина		105	95	Мергель	
Сврд. 2 (ліворуч) 10 метрів	139	135	Суглинок	Сврд. 2 (праворуч) 23 метрів	95	85	Вапняк	
	135	122	Пісок		85	80	Глина	
	122	114	Мергель		143	136	Суглинок	
	114	103	Вапняк		136	115	Пісок	
Сврд. 3 (ліворуч) 15 метрів	103	100	Глина	Сврд. 3 (праворуч) 25 метрів	115	105	Піщаник	
	125	122	Зсувний ґрунт		105	95	Мергель	
	122	115	Мергель		95	85	Вапняк	
Сврд. 4 (ліворуч) 20 метрів	115	106	Вапняк	Сврд. 4 (праворуч) 35 метрів	85	80	Глина	
	106	100	Глина		127	115	Зсувний ґрунт	
	122	116	Зсувний ґрунт		115	105	Піщаник	
	116	115	Мергель		105	95	Мергель	
Сврд. 5 (ліворуч) 35 метрів	115	105	Вапняк	Сврд. 5 (праворуч) 40 метрів	95	85	Вапняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
	125	112	Зсувний ґрунт		120	95	Зсувний ґрунт	
Сврд. 6 (ліворуч) 50 метрів	112	105	Вапняк	Сврд. 6 (праворуч) 60 метрів	95	85	Вапняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
Сврд. 7 (ліворуч) 70 метрів	122	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 7 (праворуч) 75 метрів	115	92	Зсувний ґрунт	
	115	105	Вапняк		92	85	Вапняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
Сврд. 8 (ліворуч) 85 метрів	121	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 8 (праворуч) 80 метрів	114	92	Зсувний ґрунт	
	115	105	Вапняк		92	85	Вапняк	
Сврд. 9 (ліворуч) 90 метрів	105	100	Глина	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	85	80	Глина	
	122	118	Зсувний ґрунт		113	90	Зсувний ґрунт	
	118	105	Вапняк		86	85	Вапняк	
Варіант 15			Варіант 16			85	80	Глина
с	1,3 тс/м <sup>2</sup>	с	1,1 тс/м <sup>2</sup>	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	114	91	Зсувний ґрунт	
φ	11°	φ	12°		91	85	Вапняк	
γ	1,6 тс/м <sup>3</sup>	γ	1,8 тс/м <sup>3</sup>		85	80	Глина	

Продовження додатку А

Варіант 17	Шари (в абс. відмітках):			Варіант 18	Шари (в абс. відмітках):			
	Початок	Підошва	Опис ґрунту		Початок	Підошва	Опис ґрунту	
Сврд. 1 (ліворуч) 0 метрів	138	137	Суглинок	Сврд. 1 (праворуч) 0 метрів	145	142	Супесь	
	137	122	Пісок		142	140	Суглинок	
	122	115	Мергель		140	115	Пісок	
	115	105	Вапняк		115	105	Піщаник	
	105	100	Глина		105	95	Мергель	
Сврд. 2 (ліворуч) 20 метрів	139	135	Суглинок	Сврд. 2 (праворуч) 25 метрів	95	85	Вапняк	
	135	122	Пісок		85	80	Глина	
	122	114	Мергель		143	136	Суглинок	
	114	103	Вапняк		136	115	Пісок	
Сврд. 3 (ліворуч) 22 метрів	103	100	Глина	Сврд. 3 (праворуч) 35 метрів	115	105	Піщаник	
	125	122	Зсувний ґрунт		105	95	Мергель	
	122	115	Мергель		95	85	Вапняк	
Сврд. 4 (ліворуч) 30 метрів	115	106	Вапняк	Сврд. 4 (праворуч) 38 метрів	85	80	Глина	
	106	100	Глина		142	134	Суглинок	
	122	116	Зсувний ґрунт		134	115	Пісок	
Сврд. 5 (ліворуч) 35 метрів	116	115	Мергель	Сврд. 5 (праворуч) 40 метрів	115	105	Піщаник	
	115	105	Вапняк		105	95	Мергель	
	105	100	Глина		95	85	Вапняк	
Сврд. 6 (ліворуч) 50 метрів	125	112	Зсувний ґрунт	Сврд. 6 (праворуч) 60 метрів	85	80	Глина	
	112	105	Вапняк		124	105	Зсувний ґрунт	
Сврд. 7 (ліворуч) 70 метрів	105	100	Глина	Сврд. 7 (праворуч) 75 метрів	105	95	Мергель	
	123	115	Зсувний ґрунт		95	85	Вапняк	
	115	105	Вапняк		85	80	Глина	
Сврд. 8 (ліворуч) 85 метрів	105	100	Глина	Сврд. 8 (праворуч) 80 метрів	114	92	Зсувний ґрунт	
	124	118	Зсувний ґрунт		92	85	Вапняк	
Сврд. 9 (ліворуч) 90 метрів	118	105	Вапняк	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	85	80	Глина	
	105	100	Глина		115	90	Зсувний ґрунт	
Варіант 17			Варіант 18			86	85	Вапняк
с	1,2 тс/м <sup>2</sup>	с	1,0 тс/м <sup>2</sup>	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	85	80	Глина	
φ	13°	φ	13°		116	91	Зсувний ґрунт	
γ	1,6 тс/м <sup>3</sup>	γ	1,8 тс/м <sup>3</sup>		91	85	Вапняк	
					85	80	Глина	

## Закінчення додатку А

Варіант 19	Шари (в абс. відмітках):			Варіант 20	Шари (в абс. відмітках):		
	Початок	Підошва	Опис ґрунту		Початок	Підошва	Опис ґрунту
Сврд. 1 (ліворуч) 0 метрів	138	137	Суглинок	Сврд. 1 (праворуч) 0 метрів	145	142	Супесь
	137	122	Пісок		142	140	Суглинок
	122	115	Мергель		140	115	Пісок
	115	105	Вапняк		115	105	Піщаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Сврд. 2 (ліворуч) 20 метрів	139	135	Суглинок	Сврд. 2 (праворуч) 25 метрів	95	85	Вапняк
	135	122	Пісок		85	80	Глина
	122	114	Мергель		143	136	Суглинок
	114	103	Вапняк		136	115	Пісок
Сврд. 3 (ліворуч) 40 метрів	103	100	Глина	Сврд. 3 (праворуч) 50 метрів	115	105	Піщаник
	138	135	Суглинок		105	95	Мергель
	135	122	Пісок		95	85	Вапняк
	122	115	Мергель		85	80	Глина
Сврд. 4 (ліворуч) 42 метрів	115	106	Вапняк	Сврд. 4 (праворуч) 52 метрів	142	134	Суглинок
	106	100	Глина		134	115	Пісок
	122	116	Зсувний ґрунт		115	105	Піщаник
	116	115	Мергель		105	95	Мергель
Сврд. 5 (ліворуч) 45 метрів	115	105	Вапняк	Сврд. 5 (праворуч) 65 метрів	95	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
	120	112	Зсувний ґрунт		120	95	Зсувний ґрунт
Сврд. 6 (ліворуч) 50 метрів	112	105	Вапняк	Сврд. 6 (праворуч) 70 метрів	95	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Сврд. 7 (ліворуч) 70 метрів	122	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 7 (праворуч) 75 метрів	115	92	Зсувний ґрунт
	115	105	Вапняк		92	85	Вапняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Сврд. 8 (ліворуч) 85 метрів	123	115	Зсувний ґрунт	Сврд. 8 (праворуч) 80 метрів	114	92	Зсувний ґрунт
	115	105	Вапняк		92	85	Вапняк
Сврд. 9 (ліворуч) 90 метрів	105	100	Глина	Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	85	80	Глина
	120	118	Зсувний ґрунт		115	90	Зсувний ґрунт
	118	105	Вапняк		86	85	Вапняк
Варіант 19		Варіант 20		Сврд. 9 (праворуч) 90 метрів	85	80	Глина
с	1,2 тс/м <sup>2</sup>	с	1,0 тс/м <sup>2</sup>		116	91	Зсувний ґрунт
φ	13°	φ	13°		91	85	Вапняк
γ	1,6 тс/м <sup>3</sup>	γ	1,8 тс/м <sup>3</sup>	85	80	Глина	