

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Факультет природничих наук та технологій

(факультет)

Кафедра гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеню **бакалавра**

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студентки Глущенко Софія Олегівна

(ІПБ)

академічної групи 103-18-2

(шифр)

Спеціальності 103 Науки про Землю

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Геологія»

(офіційна назва)

на тему: «Природні передумови та техногенні фактори розвитку негативних інженерно-геологічних процесів в Новокайдакському районі м. Дніпро»

| Керівники                 | Прізвище,<br>ініціали | Оцінка за шкалою |               | Підпис |
|---------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------|
|                           |                       | рейтинговою      | інституційною |        |
| кваліфікаційної<br>роботи | Загриценко А.М.       |                  |               |        |
| розділів:                 |                       |                  |               |        |
| Загальний                 | Загриценко А.М.       |                  |               |        |
| Спеціальний               | Загриценко А.М.       |                  |               |        |
| <b>Рецензент</b>          | Жильцова І.В.         |                  |               |        |
| <b>Нормоконтролер</b>     | Деревягіна Н.І.       |                  |               |        |

Дніпро  
2022

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри

гідрогеології та інженерної геології  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рудаков Д.В.  
(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу  
ступеню бакалавра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентки Глуценко Софія Олегівна академічної групи 103-18-2  
(прізвище та ініціали) (цифра)

спеціальності 103 "Науки про Землю"

за освітньо-професійною програмою «Геологія» блок «Гідрогеологія»

на тему «Природні передумови та техногенні фактори розвитку негативних інженерно-геологічних процесів в Новокайдацькому районі м. Дніпро» затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» №203-с від

15.04.2022

| Розділ      | Зміст   | Термін виконання          |
|-------------|---|---------------------------|
| Загальний   | Аналіз умов та факторів розвитку зсувних процесів в лесових ґрунтах, характеристика специфічних властивостей лесів, методи оцінки стійкості, дослідження щодо механізму формування зсувних процесів   | 2.05.2022-<br>17.05.2022  |
| Спеціальний | Оцінка ступеню ураженості міста зсувними процесами, характеристика інженерно-геологічних властивостей потенційно зсувонебезпечного ґрунтового схилу, розрахунок стійкості і величини поверхневого стоку. Обґрунтування засобів інженерного захисту території. | 18.05.2022-<br>15.06.2022 |

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

Загриценко А.М.  
(прізвище, ініціали)

**Дата видачі**

02.05.2022

**Дата подання до екзаменаційної комісії**

15.06.2022

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Глуценко С.О.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 стор., 20 рис., 4 табл., 20 джерел.

Об'єктом дослідження є зсувні процеси в межах міської агломерації, що характеризуються комплексом взаємопов'язаних природних та техногенних елементів.

Предмет дослідження – інженерно-геологічні характеристики потенційно небезпечного ґрунтового схилу.

Мета дипломної роботи полягає у з'ясуванні механізму розвитку та активізації зсувних процесів, розробці рекомендацій щодо їх попередження.

У загальній частині виконано аналіз умов та факторів розвитку та активізації зсувних процесів у лесових масивах, охарактеризовано специфічні властивості лесів, методи оцінки стійкості лесових масивів, наведено результати останніх досліджень щодо механізму формування зсувних процесів.

У спеціальній частині оцінено ступінь ураженості міста зсувними процесами, охарактеризовано інженерно-геологічні властивості потенційно зсувонебезпечного ґрунтового схилу, виконано розрахунок його стійкості та величини поверхневого стоку. Обґрунтовано способи інженерного захисту території.

Ключові слова: ЛЕСОВИДНІ ҐРУНТИ, ПРОСІДАННЯ, СУФОЗІЯ, КОЕФІЦІЄНТ СТІЙКОСТІ, ПРОТИЗСУВНІ ЗАХОДИ

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП .....  | 5  |
| 1 АНАЛІЗ УМОВ ТА ФАКТОРІВ АКТИВІЗАЦІЇ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ .....   | 7  |
| 1.1 Зсуви та їх класифікація .....   | 7  |
| 1.2 Природні передумови .....  | 13 |
| 1.3 Техногенні фактори .....   | 15 |
| 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ РОЗВИТКУ ЗСУВІВ В ЛЕСОВИХ МАСИВАХ .....  | 16 |
| 2.1 Характеристика специфічних властивостей лесових ґрунтів ...  | 16 |
| 2.2 Генезис фізико-механічних властивостей лесових масивів .....   | 19 |
| 2.3 Методи оцінки стійкості схилів .....   |    |
| 2.4 Дослідження механізму формування зсувних процесів з використанням стабілометричних випробувань ..... | 28 |
| 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ЛЕСОВИХ МАСИВІВ МІСТА ДНІПРО .....                                    | 35 |
| 3.1 Ступінь ураженості території міста зсувними процесами .....  |    |
| 3. 2 Інженерно-геологічні умови прияржного схилу в Новокайдакському районі .....                         | 39 |
| 3.3 Розрахунок величини поверхневого стоку .....   | 45 |
| 3.4 Розрахунок стійкості лесового схилу .....  | 47 |
| 4 ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ ТЕРИТОРІЙ .....  | 53 |
| 4.1 Захист від розмиву поверхневим стоком .....  | 54 |
| 4.2 Захист від підтоплення .....   | 55 |
| ВИСНОВКИ .....   | 57 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....   | 60 |
| Додаток А Відзив керівника .....   | 62 |
| Додаток Б Відзив рецензента .....  | 63 |
| Додаток В Довідка про перевірку на плагіат .....   | 64 |

## ВСТУП

У сучасних умовах на території України зафіксовано понад 20 видів екзогенних геологічних процесів (далі ЕГП), найпоширенішими з яких є зсуви, підтоплення, просідання, ерозія, абразія, карст. У межах міських агломерацій, коли освоюються несприятливі для будівництва території, а також інтенсивно експлуатуються вже забудовані ділянки, найнебезпечнішими за проявом та руйнівними наслідками вважаються зсувні процеси. Їх поширення та активізація створюють реальну загрозу безпеці життєдіяльності населення, інфраструктурі міста та території загалом.

Показовим об'єктом для дослідження у цьому аспекті є місто Дніпро, де спостерігається зсувна активність, що прогресує. Якщо у 1982 році у місті було зафіксовано 214 зсувів, то у 2002 р. їх кількість зросла до 314, а у 2014 склала 382 одиниці. При цьому зсувними процесами охоплено щільно забудовану правобережну частину міста площею понад 105 га, а трагедія, що сталася 1997 року на житловому масиві «Тополя», досі залишається однією з наймасштабніших зсувних аварій в Україні. У зв'язку з цим питання запобігання зсувам та захисту зсувонебезпечних територій стають у низку першочергових та невідкладних.

Під впливом природних факторів існує можливість активізації зсувних процесів лише за умови аномальних змін гідрологічного та гідрогіологічного режимів, проте вони на території міста за вказаний період не зафіксовані. Тому така інтенсифікація процесу свідчить про те, що діє чинник техногенного характеру.

*Мета* даної роботи полягає у з'ясуванні механізму розвитку та активізації зсувних процесів, розробці рекомендацій щодо їх попередження.

Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлено та вирішено такі завдання.

1. Характеристика природних передумов та факторів активізації зсувних процесів у лесових масивах.


2. Аналіз специфічних властивостей лесів та методів оцінки стійкості ґрунтових схилів.

3. Обґрунтування механізму формування зсуву в лесах.

4. Розрахунок стійкості та величини поверхневого стоку потенційно зсувонебезпечної ділянки ґрунтового схилу.

5. Обґрунтування заходів щодо інженерного захисту зсувних територій.

Для вирішення поставлених завдань використано комплексний підхід, що включає аналіз та систематизацію даних літературних джерел, результатів моніторингових досліджень, інженерно-геологічних досліджень та науково-дослідних робіт, натурні польові обстеження, аналітичні розрахунки.



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

# 1. АНАЛІЗ УМОВ ТА ФАКТОРІВ АКТИВІЗАЦІЇ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ

## 1.1 Зсуви та їх класифікація

Зсувом називають рух земляних мас або скельних порід по поверхні ковзання під дією сили тяжіння. Найбільший розвиток і поширення зсуви мають у зв'язних породах (в глинах, суглинках, лесах, глинистих мергелях тощо) на природних схилах і укосах кар'єрів. Зсуви відрізняються розмірами, формою, глибиною захоплення і формою поверхні ковзання, характером зміщення земляних мас, їх швидкістю, періодичністю, станом поверхні, умовами видимості.

За характером і кількістю порід, що сповзають, розрізняють [8, 11, 14, 17]:

- опливини - невеликі зрушення порід, що повільно сповзають вниз, через перезволоженість тіла зсуву;
- осипи - малі зрушення з глибиною залягання поверхні ковзання менше 5 м;
- власне зсуви - поширюються на велику глибину, при цьому включають велику кількість порід, що складають схил.

За характером усунення ґрунтових мас виділяють зрушення:

- деплясивні – породи сповзають під впливом власної ваги;
- детрузивні - породи змушені рухатися під дією пластів, що залягають зверху, відірваних від схилу.

За формою бувають:

- циркоподібні (рис. 1, а) або фронтальні (рис. 1, б), що є зсувом великих і мало порушених у верхній частині блоків порід;
- глетчеровидні - перенасичені водою маси, що рухаються вниз за схилом і утворюють щось схоже на потоки (рис. 1, в).

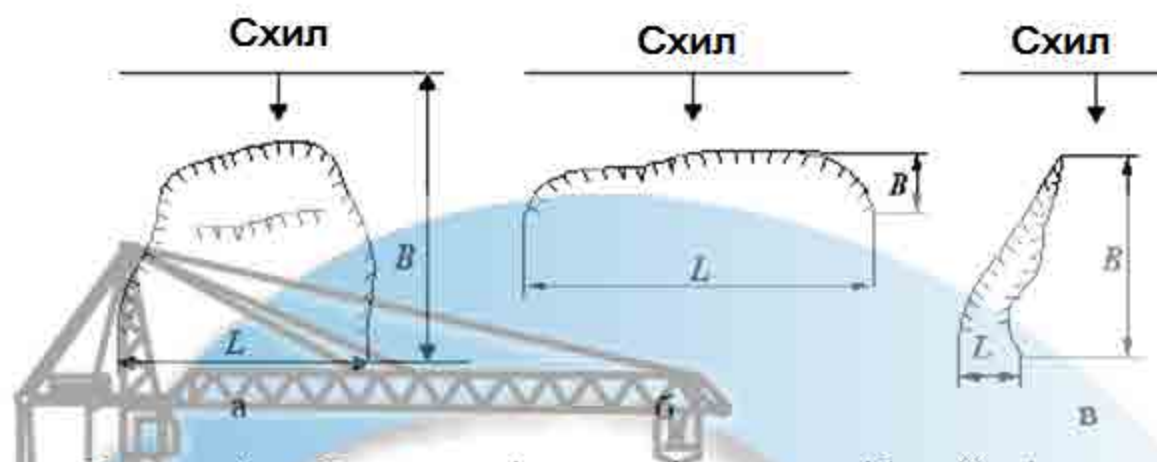


Рисунок 1 – Форми зсувів у плані: циркоподібна (а), фронтальна (б), плетчероподібна (в)

Для практичних цілей всі відомі зсуви, що утворюються на природних схилах, поділені на три групи:

- у однорідних зв'язних породах (у глинах, суглинках, лесах, глинистих мергелях тощо);
- у зв'язних породах, що залягають у вигляді пластів із добре вираженими поверхнями напластування;
- у зв'язних породах, що залягають у чергуванні із пластами та лінзами водоносного піску.

Кожна з цих груп поєднує собою кілька видів зсувів, що відрізняються один від одного як за структурою зсувних схилів, характером зсувних процесів, так і механізмом їх розвитку (рис. 2).

До складу першої групи зсувів, що утворюються в однорідних зв'язних породах, входять структурні, просадні, пластичні (консистентні) та зсуви-обвали.

**Структурні зсуви** – усунення земляних мас по явно вираженій криволінійній поверхні ковзання. Маса, що зміщується, майже не змінюють початкової структури і не утворюють біля підшви схилів хаотичних нагромаджень ґрунту, зсувних гряд-валів, пагорбів.



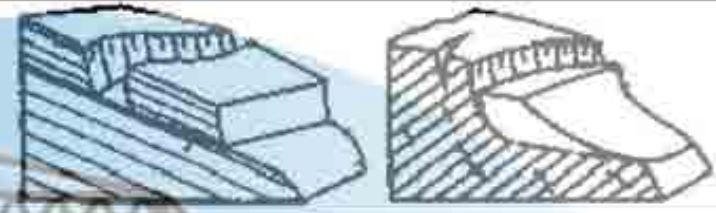





| № п/п | Тип зсуву за механізмом зміщення | Типові схеми   |
|-------|----------------------------------|--|
| 1     | Ковзання                         |    |
| 2     | Видавлювання                     |    |
| 3     | Випливання                       |   |
| 4     | Течії                            |  |
| 5     | Просідання                       |  |
| 6     | Розрідження                      |  |

Рисунок 2 – Класифікація зсувів за механізмом порушення рівноваги масиву порід

Зсуви цього виду з'являються в основному на природних схилах пагорбів, в котлованах, у глибоких розрізах відкритої розробки родовищ корисних копалин, насипах.

Площа поширення структурних зсувів зазвичай невелика, проте на крутих схилах і прибережних зонах може бути дуже великий. Потужність зсувного масиву досить велика. У глибоких виїмках і крутих схилах ярів і берегів річок вона нерідко сягає 1/5 довжини зсуву, в розрізах глибина захоплення буває більше його довжини.

Швидкість руху зсувного масиву нерівномірна. Максимальна швидкість досягається у початковий період розвитку зсувного процесу, а з часом вона поступово згасає. За своєчасного здійснення протизсувних заходів структурні зсуви переходять у стабільний стан і рідко відновлюються.

**Зсуви просідання** – зміщення порід на крутих ділянках природних схилів спочатку у вертикальному напрямі, а потім у напрямі схилу (рис. 2). Ці зсуви утворюються в лесах і лесовидних суглинках, що мають широке поширення в Україні. Від інших порід вони відрізняються великою однорідністю та дрібнозернистістю з переважанням фракцій 0,01 – 0,005 мм у діаметрі.

Процес деформації розвивається інтенсивніше, якщо водночас з обводненням лесових порід відбувається зволоження їх знизу при підвищенні рівня підземних вод.

При обводненні у основи лесових схилів дрібнозернистих пилюватих пісків внаслідок дії зовнішніх вод або під час руху в них підземних вод розвиваються суфозійні процеси. У цих випадках зсувні деформації схилів відбуваються не тільки внаслідок ущільнення лесових порід і порушення структурних зв'язків, але й з масовим виносом розрідженого дрібнозернистого пилюватого піску з основи товщі. В утворенні зсувів типу суфозійно просадних велику роль відіграє штучне обводнення лесових та лесоподібних суглинків на схилах з водопроводів, каналізації та відкритих водотоків.

**Пластичні або консистентні зсуви** утворюються на схилах у зв'язку зі зміною природної структури та консистентності глинистих порід, що складають

природні схили або укоси штучних земляних споруд. Глини під впливом повітря та атмосферних опадів, а також різких коливань температури інтенсивно вивітрюються та стають нестійкими. Порухнені вивітрюванням глинисті породи легко переходять із твердого та пухкого в пластичний та плинний стан і починають сповзати по похилій поверхні схилу навіть при невеликій його крутості.

Швидкість усунення земляних мас даного типу зсувів у вертикальній площині неоднакова: на поверхні швидкість зсувів найбільша, а зі збільшенням глибини вона поступово згасає.

Якщо глинисті породи на схилі зволожені атмосферними опадами під час дощів або танення снігу, то швидкість мас, що зміщуються в зоні, найближчій до денної поверхні, може перевищити швидкість зміщення в зону нижче. У цьому випадку маси ґрунту, що зміщуються, рухаються по декількох поверхнях ковзання, випереджаючи один одного. При дуже великому зволоженні ґрунтів (більше 45%) зсуви пластичні переходять у зсуви-обвали.

**Зсуви-обвали** утворюються у водонасичених пухких глинистих породах, які піддаються інтенсивному вивітрюванню на крутих ділянках схилу. Поверхня ковзання в зсувах цього типу виражена досить чітко. У верхній частині зсувного масиву вона проходить на межі між пухкими породами елювіальної зони і корінними породами, у нижній – поверхнею ковзання служить денна поверхня схилу.

На крутих ділянках природних схилів при водонасиченні ґрунтово-рослинного шару та пухких недоущільнених порід утворюються опливини. До складу другої групи зсувів у зв'язних породах, що залягають у вигляді пластів з добре вираженими поверхнями напластування, входять зсуви трьох видів: *контактні* (ковзання); *зрізу* (сколу); *структурно-пластичні* (видавлювання) (див. рис. 2).

**Контактні (ковзання)** зсуви утворюються на природних схилах височин, долин річок і косогорах, складених шаруватими породами, у яких падіння шарів спрямоване у бік схилу. Залежно від висоти розташування поверхні

ковзання над підшоною схилу і його крутизни зсуви можуть переходити в **зсуви-обвали**. Поверхнею ковзання є площина напластування, яка зумовлена геологічною будовою зсувної ділянки. Сповзає зазвичай один або одночасно кілька шарів, залежно від того, в якій послідовності залягають породи, що зміщуються. Ковзання по позбавлених глинистих прошарків площинах напластування може викликати гідростатичний бічний тиск підземних вод, що заповнюють тріщини в породах, або тільки додаткове навантаження.

**Зсувні або сколюючі зсуви** - зсув земляних мас по криволінійній поверхні ковзання, близької до крутої логарифмічної кривої, майже вертикальної у поверхні землі і майже прямолінійної у підшви схилу. У верхній частині схилу поверхня ковзання сколює напластування різних за віком зв'язних порід, у тому числі нерідко і скельних. У нижній – вона переходить у площину напластування з прямолінійним простяганням, якщо в основі сповзаючих порід залягають щільні тверді. Якщо в основі залягають м'які глинисті породи, то поверхня ковзання має криволінійні, але більш пологі обриси. Зсуви даного виду утворюються на природних схилах височин і долин річок, складених шаруватими породами, що залягають горизонтально або з ухилом, протилежним схилу.

**Структурно-пластичні зсуви** (видавлювання) – зміщення земляних мас у результаті пластичної зміни форми м'яких глинистих порід під впливом вертикального тиску, що створюють вищезалягаючі твердіші породи. Зсуви такого типу мають широке поширення на крутих берегах Дніпра, Дністра, Дунаю та інших річок, а також схилах балок. Структурно-пластичні зсуви з часом у міру руйнування та сповзання твердих порід верхнього шару до підшви схилу можуть перейти в зсуви пластичного типу.

Зсуви, що відбуваються в зв'язних породах, чергуються з пластами і лінзами водоносного піску, входять до складу третьої групи і діляться на: *суфозійно-структурні, суфозійно-пластичні та суфозійно-просадні*. Вони значно відрізняються від описаних вище структурою зсувного схилу і

характеру розвитку зсувних процесів. Схили, на яких утворюються зсуви зазначеної групи, за своєю будовою поділяються на два види:

– складені глинами, мергелями, вапняками, пісковиками та водоносними пісками, що залягають у вигляді добре виражених горизонтальних або похилих шарів;

- складені глинистими породами з невитриманими елементами залягання.

У першому випадку при наявності одного водоносного шару в товщі гірських порід, що складають схил, утворюються прості або одноярусні зсуви, а за наявності декількох шарів - складні або багатоярусні. У зсувних процесах можуть брати участь або верхній глинистий, або суглинистий шар, що сповзає по першому від поверхні піщаному шару, насиченому ґрунтовими водами, або відразу кілька шарів, що сповзають по одному або декільком з шарів, що нижче залягають. У другому випадку водоносний пісок залягає у шарах глини у вигляді окремих прошарків та лінз або, навпаки, глина та суглинки залягають у вигляді неправильних лінз. Таким чином, водою насичується вся глинисто-піщана товща, що є водоносним горизонтом із збереженням гідравлічного зв'язку в ґрунтовому потоці у всіх її частинах. Заходи боротьби з зсувами, що утворюються в породах з кількома водоносними горизонтами, будуть дещо іншими, складнішими, ніж для випадків з одним водоносним горизонтом.

## 1. 2 Природні передумови

Зсуви найбільш поширені на схилах балок і прибережних ділянках, що складаються з нестійких порід та мають здатність деформуватися.

У роботах А.І. Шеко, Є.М. Сергєєва, Є.П. Ємельянової та ін. зазначено, що одним із найважливіших природних факторів є рельєф, який визначає інтенсивність прояву зсувних процесів та має значний вплив на їх генетичні особливості. Він впливає на потужність та склад покривних утворень, зволоженість території, концентрацію поверхневого стоку, потенційну енергію, зсувні зусилля тощо.

Крім того, існує взаємозв'язок між крутістю схилів, потужністю та складом покривних утворень, гідрогеологічними умовами та типом поверхні зсувів. Іншими словами, чим більша потужність покривних утворень для даного значення крутості схилу, тим вища ймовірність виникнення зсувів.

До основних чинників впливу відносять також зволоженість території, ухили і розчленованість рельєфу. При збільшенні ухилів та розчленуванні рельєфу кількість опадів на одиницю площі території зменшується.

Підземні води впливають на величину напруги та на міцність порід. Розвиток зсувних процесів залежить від положення рівня підземних вод по відношенню до основного горизонту, що деформується, або поверхні ковзання.

Активізацію зсувів у лесових породах пов'язують із періодом підйому рівня підземних вод. Зсуви виникають у результаті обводнення лесових порід напірними водами у зонах тектонічних порушень. Це пов'язують зі специфічними властивостями просадних лесоподібних суглинків і лесів, які у природному стані мають відносно високу пористість (близько 50%) та малу вологість. При замочуванні лесів відбувається їхнє швидке розмокання та порушення початкової структури, що призводить до значного зростання опадів. Зафіксовані випадки, коли після замочування порівняно великої товщі лісових ґрунтів, просідання поверхні ґрунту склало 2-2,5 м.

Багатофакторний вплив має рослинність. Вона впливає на характер залежності між крутістю схилу та потужністю покривних відкладень, розвиток процесу ерозії схилів. Зі збільшенням річних опадів зростає інтенсивність ерозійних процесів. При збільшенні річних опадів інтенсивність ерозії знижується через формування рослинного покриву, що перешкоджає їх розвитку. Густий, високий трав'яний покрив, якщо він орієнтований вниз схилом, може створити ефект "даху", різко зменшувати утримуючу здатність і збільшувати поверхневий стік.

Розвиток зсувних процесів пов'язують із промерзанням та таненням гірських порід. При цьому глибину промерзання визначають залежно від ступеня та тривалості холодного періоду часу.

Тісний зв'язок активності прояву зсувних процесів існує з режимом випадання атмосферних опадів та температурними змінами.

Узагальнюючи природні причини, визначальні виникнення та розвитку зсувних процесів, їх можна згрупувати в такі:

- 1) геоморфологічні - контрастність рельєфу, пов'язана з наявністю розчленованості на ділянках, склад, стан та властивості відкладень;
- 2) структурно-геологічні – наявність зони перетину розломів різних напрямків, лесові відкладення різної потужності;
- 3) кліматичні - кількість та режим випадання атмосферних опадів, процеси промерзання та танення ґрунту;
- 4) гідрогеологічні – режим першого від поверхні водоносного горизонту, глибина залягання ґрунтових вод.

### 1.3 Техногенні фактори

Інтенсивність перебігу, концентрація, частота та масштаби прояву техногенно зумовлених геологічних процесів суттєво перевищують аналогічні природні. Звідси впливає їхнє надзвичайне значення.

Основними техногенними факторами впливу на стійкість ґрунтових схилів є

- порушення дернового покриву схилів (на городах та схилах);
- засипання балок та схилів побутовим та будівельним сміттям;
- підрізування схилів та самовільна забудова;
- додаткове навантаження на схили внаслідок їхньої забудови;
- вібраційні впливи, пов'язані з будівництвом та експлуатацією залізниць та автомагістралей, що призводять до утворення значних статичних та вібраційних навантажень;
- підпір рівнів ґрунтових вод водосховищами та іншими водоймищами, витоками води з гідропоруд та комунікацій;
- обводнення порід схилу за рахунок втрат із водонесучих комунікацій.

Найбільш динамічним фактором, який здатний різко посилювати вплив на навколишнє середовище всіх інших факторів, є порушення гідрогеологічного режиму підземних вод. У районах поширення лесово-суглинистих порід довгострокове техногенне підтоплення та підвищення рівня ґрунтових вод на присхильних ділянках сприяє зниженню міцності ґрунтів, створюючи умови для розвитку зсувів на схилах з кутами нахилу 3-5°, та суттєво розширює площі розвитку зсувів.

## 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ РОЗВИТКУ ЗСУВІВ В ЛЕСОВИХ МАСИВАХ

### 2.1 Характеристика специфічних властивостей лесових ґрунтів

Найважливішою інженерно-геологічною властивістю лесових порід і складених ними масивів є просадочність, яка проявляється у їх здатності при зволоженні зменшувати свій об'єм.

Просідання лесових порід визначено особливостями їх складу, будови та стану. Найбільш важливими є такі положення [ 3, 6]:

- лесові породи являють собою структуровані піщано-глинисто-пилуваті дисперсні системи з різким переважанням пилуватих частинок і володіють малою гідрофільністю, що обумовлює відсутність або дуже малу величину їх набухання при зволоженні;
- леси характеризуються низькими значеннями щільності непорушеного скелету та високою пористістю (42 – 55% і вище), причому серед пір переважають відкриті;
- до моменту замочування леси мають низьку природну вологість і, відповідно, знаходяться в твердому або напівтвердому стані;
- у цих породах, нерідко у великих кількостях (до 10% і більше) присутні карбонати та водорозчинні солі, які в умовах невисокої природної вологості обумовлюють структуру перехідного (коагуляційно цементацийного) типу з високою міцністю структурних зв'язків та всього ґрунту в цілому;



- міцність такої структури в лесових породах за величиною і за часом знижується при водонасиченні (аж до практично повного розмокання невеликих зразків, поміщених у спокійне водне середовище).

Основний фактор, що впливає на стійкість лесових масивів – це зволоження. Лесові породи при природній вологості мають відносно низьку деформованість і високу міцність. Їх зволоження до значень, що перевищують початкову просадну вологість, призводить до реалізації просідання як важливої інженерно-геологічної особливості лесових порід та розвитку просадних деформацій у масивах, що ними складені. Такі деформації виникають як за впливу власної ваги порід масиву, так і впливу навантаження від споруди. При зволоженні лесів спостерігається комплекс їх деформацій: різні просідання, горизонтальні переміщення ґрунту, нахили та горизонтальні зміщення поверхні масиву. Характеристиці цих явищ присвячено багато робіт, серед яких можна назвати монографії Денисова Н.Я., Абелева Ю.М. та Абелева М.Ю., Ларіонова А.К., Приклонського В.А., Ананьєва В.П., Балаєва Л.Г., Крутова В.І. та ін дослідників. У природних умовах збільшення вологості ґрунтів здебільшого зумовлене підвищенням рівня підземних вод. Найменше значення мають атмосферні опади за рахунок превалювання поверхневого стоку. У техногенних умовах це порушується за рахунок витоків із водонесучих комунікацій (водопровід, каналізація, тепломережі), різноманітних резервуарів, басейнів, зрошення земель та ін.

Серед основних природних факторів, що впливають на стійкість масивів лесових порід, можна виділити такі.

1) Процеси ерозії та абразії, внаслідок яких відбувається зміна форм рельєфу та створюються різкі обриси схилу, що за певної крутості провокує зсувні процеси. До цього схильні райони поширення лесових ґрунтів з їх невисокою водоміцністю, швидким розмоканням при взаємодії з водними розчинами. Небезпека від ерозії залежить від рельєфу та крутості схилу.

2) Вивітрювання провокує порушення зв'язків у породах та утворення тріщин, що призводять до збільшення інфільтрації і, відповідно, подальшого

вилугування з ґрунту солей. Внаслідок вилугування в лесових породах з'являються ослаблені зони з підвищеною пористістю або порожнинами. Механічна суфозія може відбуватися як у засолених лесових ґрунтах слідом за вилугуванням, так і в незасолених їх різновидах. Особливо схильні до цього процесу лесові породи з зернисто-плівковою структурою та високою активною пористістю. Слідом за механічною суфозією в лінійно орієнтованих порожнечах і зонах порід з підвищеною пористістю може початися внутрішньо пластовий розмив. Саме на цих ділянках масиву можливий рух води із значною швидкістю. Сюди ж можна віднести гідростатичний та гідродинамічний тиск, які також мають істотний вплив на процеси розпушування та ослаблення масиву, суфозійні процеси та ін.

3) Гідрометеорологічні умови, що викликають поверхневі процеси ерозії, підмив різних частин схилу, утворення ярів, а також ослаблення масиву загалом при тривалому впливі вологи на ґрунт. З кліматичних характеристик, що визначають небезпеку прояву ерозії, найбільше значення має характер дощових опадів, час їхнього випадання і особливо інтенсивність. Найбільш небезпечні зливи, під їх впливом досить швидко руйнуються маломіцні структурні агрегати ґрунтів, розвинених на лесах, відбувається закупорка ґрунтових пор, ущільнення поверхневого шару ґрунту, збільшуючи таким чином поверхневий стік та розвиток ерозії.

4) Тектонічні порушення, що створюють зони ослаблення в масиві і опосередковано впливають на зсуви ґрунту. У більшості випадків деформації споруд зумовлені впливом техногенних факторів, зокрема інфільтрацією та підтопленням, які провокують розвиток гідрогеомеханічних процесів у лесових масивах.

Збільшення вологості порід може відбуватися за рахунок конденсації парів води в ґрунті. Зволоження лесових масивів відбувається, як зазначалося, при техногенних витоках. Крім цього режим вологості лесових масивів порушується при розорюванні полів, асфальтуванні поверхні, масовій забудові територій і в ряді інших випадків.

Найбільша зміна стану лесових порід спостерігається при довгостроковому (або постійному), середньо- та високонапірному впливі води на лінійних або площинних спорудах. На прикладі лівобережного каналу Терсько-Кумської зрошувальної системи показано, що внаслідок багаторічної фільтрації води з каналу сформувалася велика змочена зона з вологістю до 28 – 30%. Подібне тривале водонасичення призвело до зникнення просідання, хоча її початкова величина досягала 5 – 10%. У зоні тривалого зволоження відбувається значна перебудова структури ґрунту: зменшення пористості від 50 до 37% та зміна агрегатної системи за рахунок збільшення вмісту тонкодисперсної складової [1, 19].

У разі виникнення динамічних впливів, післяпросадкова зміна структури лесу може значно збільшуватися.

## 2.2 Генезис фізико-механічних властивостей лесових масивів

Як зазначалося вище, лесові породи при природній вологості мають низьку деформованість і відносно високу міцність. Їх зволоження до значень, що перевищують початкову просадну вологість, призводить до реалізації просідання як важливої інженерно-геологічної особливості лесів та розвитку різних деформацій у масивах. Такі деформації виникають як за впливу власної ваги порід масиву, так і при навантаженні від споруди.

Вивченню закономірностей утворення та розвитку просадних деформацій лесових порід, а також їх зволоження як активатора зазначених деформацій присвячені роботи Ю.М. Абелева, В.П. Ананьєва, Л.Г. Балаєва, М.М. Гольдштейна, Н.Я. Денісова, В.С. Істоміної, Н.І. Крігера, В.І. Крутова, А.К. Ларіонова, Г.М. Ломізе, Г.А. Мавлянова, А.А. Мустафаєва, А.Л. Рубінштейна, Р.А. Токаря та ін.

Структура лесових порід є однією з найважливіших їх характеристик та значною мірою визначає прояв тих чи інших властивостей при зволоженні. Стан структури регулюється рядом характеристик, серед яких слід назвати

гранулометричний, мінералогічний та хімічний склади, пористість, склад цементуючої речовини та ін.

Лісові породи є полімінеральними. Основна маса мінералів у них представлена первинними кластичними формами, а в меншій кількості – вторинними колоїдно-дисперсними мінералами. Мінерали лесових порід поділяються на три типи – кластогенні, високодисперсні та типоморфні (табл. 1).

Таблиця 1

## Мінерали лесових порід

| Генетичні типи мінералів | Фракції лесових порід, мм |
|--------------------------|---------------------------|
| Кластогенні              | Піщані (>0,05)            |
|                          | Пилуваті (0,05-0,005)     |
| Високодисперсні          | Глинисті (<0,005)         |
| Типоморфні               | Всі фракції               |

Велика фракція лесових порід представлена більш ніж 50 різними мінералами і лише 10 – 15 є породостворюючими, інші акцесорні. Головна роль належить кварцу та польовим шпатам. Карбонати, слюди, гіпс та інші мінерали містяться у меншій кількості. Тонкодисперсні фракції представлені більш ніж 25 мінералами, найбільш поширеними з яких є гідрослюди, кварц, кальцит, монтморилоніт та каолінит.

Однією з найхарактерніших рис лесів є наявність карбонатів, які представлені кальцитом і доломітом. В результаті експериментів встановлений взаємозв'язок між міцністю породи та вмістом карбонатів, однак спроби виявлення кількісного зв'язку між вмістом карбонатів та коефіцієнтом відносної просадності здавалися безуспішними. Поряд із важкорозчинними карбонатами в лесах містяться й інші водорозчинні сполуки. Середньо- та легкокорозчинні солі представлені в основному гіпсом та хлористим натрієм. Також зустрічаються  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NaNO}_3$  та  $\text{NaCO}_3$ , які є легкокорозчинними.

Загальна кількість водорозчинних солей, що характеризується густим залишком водних витяжок, змінюється від 0,02 до 10%.

До водостійких мінералів відносять кварц, польові шпати та ін. кластогенні мінерали, якими практично повністю складені піщана та пилувата фракції лесових порід. До активно взаємодіючих з водою відносять глинисті та ін. високодисперсні неглинисті мінерали (кварц, гідроокисли, оксиди, органіка і т.д.). В залежності від швидкості розчинення виділяють швидке (галоїди), середнє (сульфати) та повільне (карбонати) водо розчинення.

Валовий склад лесових порід в узагальненому вигляді має такі значення (в%):  $\text{SiO}_2$  – 43-78,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4-18,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,4-10,  $\text{CaO}$  – 2,7-16,  $\text{MgO}$  – 0,7-4,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,07-3,2,  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,2-2,8,  $\text{SO}_3$  – 0,02-3,  $\text{CO}_2$  – 0-2,4. Крім того, присутні  $\text{TiO}_2$  (0,5-0,8%),  $\text{MnO}$  (0,02-0,09%) і рідше  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0-0,3%). Дуже рідко можна зустріти оксиди азоту. Великий інтерес представляють дані щодо валових складів глинистих фракцій лесових порід. Так, у фракції < 5 мкм вміст  $\text{SiO}_2$  коливається від 38 до 47%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – від 14 до 22%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – від 7 до 13% та  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – від 0,8 до 3%.

Гранулометричний склад лесової породи характеризується вмістом пилуватої фракції понад 50% (0,05 – 0,005 мм). Решта складається з глинистих частинок (менше 0,005) та невеликої кількості піщаних (2 – 0,05). Раніше при розгляді особливостей гранулометричного складу лесових порід зазначалося, що вони агреговані. Дослідження Н.Я. Денісова, А.К. Ларіонова, В.М. Алексеєва, І.М. Горькової, Н.М. Комісарової, Ю.І. Григор'євої та інших показали, що агрегати мають розмір великого пилу та тонкого піску. Вихід агрегатів лесової фракції при мікроагрегатному аналізі ґрунтів може досягати 80 – 95%. М.Я. Денисов вперше поставив питання необхідності вивчення водостійкості агрегатів лесових порід і зв'язку її зі ступенем просадочності. Подальші експериментальні дослідження лесів дозволили поділити макроагрегати на неводостійкі та водостійкі. До перших відносять агрегати, що мають коагуляційну природу зв'язку, а також утворені за рахунок цементації солями легкорозчинними. Водостійкі агрегати, що становлять основну частину

структурної системи лесових порід, поділяються на водостійкі, водоміцні та висоководоміцні.

У природних масивах під час переходу лесових порід у водонасичений стан насамперед легко руйнуються неводостійкі агрегати, із цим пов'язані провальні просідання. При тривалому зволоженні з часом відбувається розпад водостійких агрегатів, що обумовлює уповільнені деформації лесових товщ.

Тут слід зазначити, що П.А. Ребіндер першим запропонував розрізняти в глинистих ґрунтах коагуляційні (диспергаційні) структури, здатні після часткового руйнування відновлюватися в результаті тиксотропного зміцнення, і конденсаційні структури, що незворотно руйнуються при механічних впливах. І.М. Горькова, розвиваючи далі ідеї П.А. Ребіндера, виділяє в породах такі структурні зв'язки як стабілізаційні, коагуляційні та змішані коагуляційно-цементацийні.

Тип структурних зв'язків у разі встановлюється у першому наближенні з урахуванням зіставлення дисперсного і мікроагрегатного гранулометричних аналізів. На думку деяких дослідників, на підставі зіставлення величин пластичної міцності лесових порід при різних видах фізико-хімічного на них впливу, структурні зв'язки в цих породах носять змішаний коагуляційно-кристалізаційний характер.

Серед елементів структурної характеристики лесових порід однією з найважливіших є їх пористість, величина якої коливається від 30 до 65%, найчастіше – 45 – 55%. Поряд з іншими причинами, така висока пористість сприяє просадним деформаціям лесових порід при зволоженні. Всі порожнечі в лесах поділяються на пори (великі пори, міжчасткові та міжагрегатні пори, мікропори), трубчасті пори, або макропори (первинні та фітогенні), і тріщини (набухання, усадки, вивітрювання тощо). Найбільше значення у формуванні просідання має міжчасткова пористість, яка коливається від 13 до 35%. Також міжчасткова пористість поділяється на активну та пасивну. Пасивна пористість, з діаметром пор 10 – 20 мкм і менше, при дії тиску не зменшується, а збільшується, і лише при тривалому навантаженні може бути ущільнення пор.

Рух води тут відбувається головним чином плівковим типом. Активні пори діаметром понад 10 – 20 мкм деформуються при просіданні та механічному ущільненні лесового ґрунту. При цьому відбувається зменшення активної пористості та збільшення пасивної, а рух води відбувається капілярним шляхом або у вигляді вільного струму.

Таким чином, стан структури лесових порід знаходиться в прямій залежності від ступеня їхньої вологості, і відповідно визначає їх фізико-механічні властивості.

Залежно від характеру, інтенсивності замочування ґрунтів, розмірів джерела замочування, форм зволжених зон, що утворюються, та інших факторів, при проектуванні на просадних ґрунтах враховують наступну динаміку зміни їх вологості та прояви просадок:

- місцеве замочування ґрунтів основи зверху, що призводить до просідання ґрунтів на обмеженій площі в межах верхньої частини або, рідше, усєї товщини просадки;

- інтенсивне замочування ґрунтів основи зверху протягом тривалого часу, в результаті чого відбувається промочування усєї товщі просадки і повний прояв просідань як від власної ваги, так і від навантажень фундаментів;

- підйом рівня ґрунтових вод, що викликає просідання нижніх шарів ґрунту в основному від його власної ваги;

- повільне підвищення вологості лесу, спричинене порушенням природних умов випаровування води внаслідок забудови та асфальтування території та поступового накопичення води при інфільтрації у ґрунт поверхневих вод.

### 2.3 Методи оцінки стійкості лесових масивів

При проектуванні протизсувних заходів та будівництві на лесових схилах згідно з нормативами проводять оцінку ступеня стійкості ґрунтових масивів [4, 10, 12, 20]. Для цього обчислюється коефіцієнт стійкості, який характеризується співставленням утримуючих та зсувних сил у масиві. Всі

відомі методи оцінки ступеня стійкості схилів ґрунтуються на застосуванні теорії граничної рівноваги, що розглядає граничний напружений стан ґрунтового масиву. У разі обводнення лесових масивів найбільш застосовними є наступні.

*Метод круглоциліндричної поверхні* поширений у будівельній практиці та застосовується за допомогою різних прийомів. Метод круглоциліндричної поверхні ковзання доцільно застосовувати, коли укіс складений однорідними ґрунтами. Передбачається, що сповзання ґрунту може статися лише в результаті обертання масиву, що зповзає, навколо центру  $O$  (рис. 3). Отже, поверхня ковзання  $BP$  в даному випадку буде представлена дугою деякого кола з радіусом  $r$ , окресленого з центру  $O$ . Масив, що оповзає, розглядається при цьому як деякий блок, усіма своїми точками що бере участь в одному загальному русі. У блоках виділяється водонасичена частина, щільність якої більша, ніж у ґрунту вище за рівень водонасичення (РГВ).

Ступінь стійкості укосу найчастіше визначають найпростішим методом

моментів

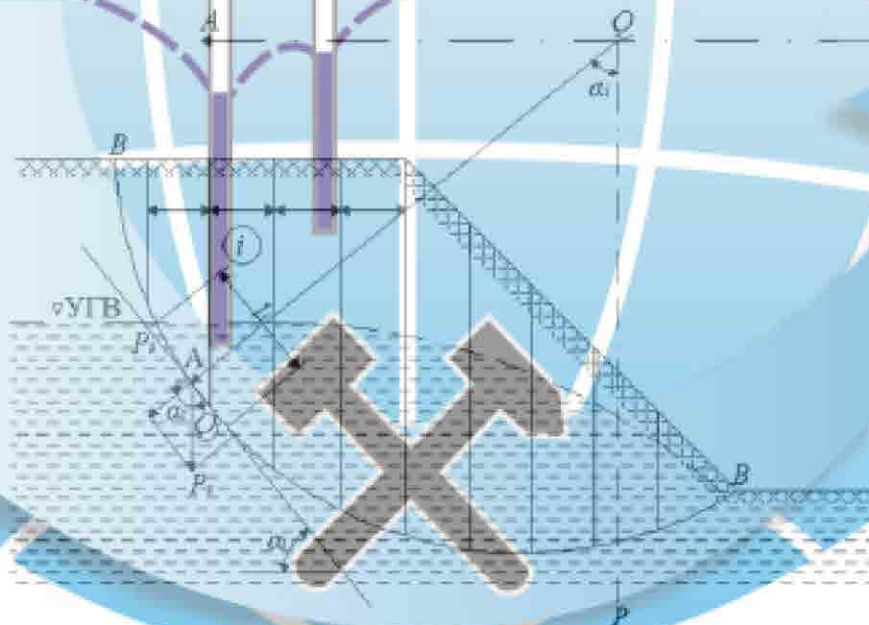


Рисунок 3 – Схема до розрахунку за методом круглоциліндричної поверхні ковзання



Метод горизонтальних сил відомий як метод Маслова-Берера, шанхайський метод, метод горизонтальних сил Маслова. Застосовується у випадках, коли укіс складений різнорідними ґрунтами і зсув відбувається по відомій довільній поверхні ковзання. Передбачається, що ця поверхня ковзання (становище і обрис) вже встановлена хоча б на частині її простягання будь-яким дослїдним або теоретичним способом. На невідомій частині поверхня ковзання встановлюється шляхом підбору.

В умовах плоского завдання ця криволінійна поверхня ковзання з деяким наближенням може бути замінена в площині креслення прямою чи іншою сукупністю прямих ліній - ліній ковзання. Відповідно до цього весь масив ґрунту розбивається на окремі відсіки. Масив ґрунту ділиться на окремі відсіки з таких міркувань, щоб кожен розрахунковий відсік складався, наскільки можна, з більш-менш однорідного ґрунту (для простоти обчислень). Кожна лінія ковзання в окремому відсіку приймається за пряму лінію (рис. 4 б).

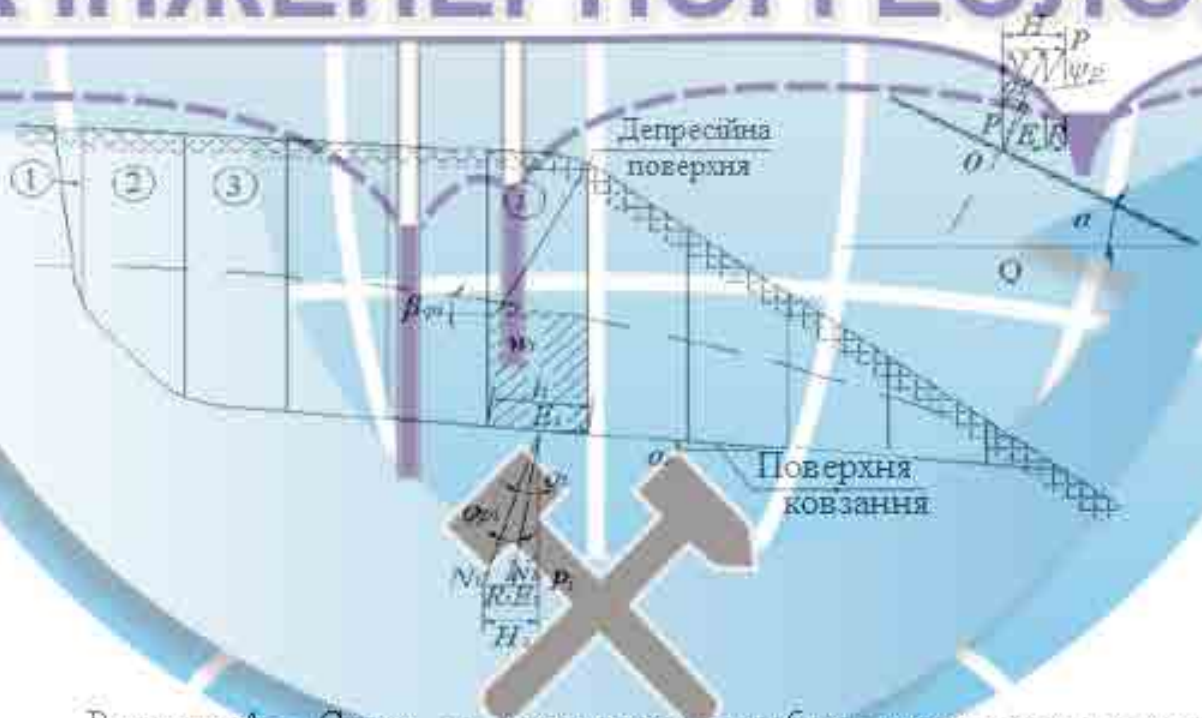


Рисунок 4 – Схема до розрахунку способом горизонтальних сил: а – основний принцип; б - використований для розрахунку стійкості скилу

На рисунку 4 сила  $N$  – нормальна до поверхні ковзання складова реакції ваги  $P$  деякого виділеного розрахункового відсіку, за умови, що  $v = 0$  і  $c = 0$ .

Сила  $N$  – також реакція  $P$ , за наявності в ґрунті на поверхні ковзання тертя та зчеплення; напрям сили  $N$  визначається кутом тертя або кутом зсуву  $\varphi_r$  за наявності в ґрунті зчеплення ( $c \neq 0$ ).

Сила  $H$ , як проекція на горизонтальну вісь сили  $N$ , є розпір, тобто тиск на вертикальну стінку нижче розташованого відсіку за відсутності в ґрунті тертя та зчеплення. Сила  $R$  – частина розпору  $H$ , що сприймається тертям і зчепленням;  $E$  – непогашена частина розпору  $H$ . Врахування гідродинамічного та гідростатичного тиску відсутнє.

Г.М. Шахунянц запропонував використовувати для визначення коефіцієнта стійкості масиву ґрунту, що сповзає по фіксованій поверхні ковзання, формулу, отриману для круглоциліндричної поверхні

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum_{i=1}^{i=n} c_i l_i}{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i}$$

На практиці буває, що поверхня ковзання не є плоскою, а може бути представлена з окремих ділянок, що мають різні нахили до горизонту. І тут зручно визначати зсувний тиск окремих відсіків, та будувати епюру його зміни (рис. 5, а, б).

Передбачається, що зсувні маси рухаються поверхнею  $abcde$  (рис. 1.5, б). Для визначення коефіцієнту стійкості і величини зсувного тиску весь масив, що сповзає, розбивається на ряд відсіків таким чином, щоб у межах кожного відсіку поверхня ковзання була плоскою. Визначається вага кожного відсіку  $P_i$  та розкладається на нормальну та дотичну складові до площини ковзання даного відсіку. Для визначення зсувного тиску враховуються умови рівноваги окремих відсіків зсуву, як суми проекцій зовнішніх сил на напрям руху кожного відсіку.

Для відсіку 1 необхідно взяти суму проекцій всіх сил на площину ковзання  $ab$ , включаючи невідомий тиск з боку сусіднього відсіку 2, і прирівняти її нулю. Таким чином, знаходиться величина реакції  $E_1$ , яка повинна

бути прикладена до відсіку 1 з боку відсіку 2 у напрямку  $ab$ , щоб відсік 1 знаходився в рівновазі. Величина  $E_1$  є зсувним тиском. Гідростатичний та гідродинамічний тиск також додається до цієї величини.



Рисунок 5 – Метод дотичних сил: а – випадок плоскої поверхні ковзання, б – випадок ламаної поверхні ковзання

*Метод скінчених елементів* для ґрунтових масивів найбільш детально розроблений А.Б. Фадеевим. Чисельна деформаційна пружно-пластична модель середовища є узагальненням пружного і жорсткопластичного середовищ з внутрішнім тертям. Математичний апарат методу скінчених елементів у чисельній моделі зводить задачу інтегрування диференціальних рівнянь аналітичної постановки до вирішення системи лінійних рівнянь, що

апроксимують моделювану область шматковим набором найпростіших функцій.

#### 2.4 Дослідження механізму формування зсувних процесів з використанням стабілометричних досліджень

Дослідженнями І.О. Садовенка, Н.І. Деревягіної [ 16 ] оцінювалися зміни, що відбуваються в лесах при їх насиченні та фільтрації ґрунтового потоку, які провокують процес переходу структури ґрунту в якісно нову із зміною характеру зв'язків, а відповідно і новими геомеханічними показниками. Виявлено просторові закономірності зміни фільтраційних та міцнісних властивостей лесових порід у часі при заданих натурних значеннях геостатичного тиску за допомогою приладу тривісного стиснення. Також для формування уявлення про кількісний характер гідродинамічного режиму та його зміни при зсувному процесі, приділено увагу встановленню залежностей фільтраційних показників лесових порід від деформацій у різних частинах зсувного тіла.

У процесі випробувань задавалися напрямок фільтраційного потоку в ґрунті та положення самого зразка по відношенню до потоку з урахуванням максимального наближення реальних умов зсувних масивів, де встановлена істотна анізотропія. Досліджувався вплив на ґрунт фільтраційного потоку в напрямку паралельно та перпендикулярно до поверхонь нашарувань.

Використання обладнання тривісного стиснення TriSCAN (VJTech, Великобританія) для лесових порід дозволяє максимально наблизити гідрогемеханічні режими випробувань зразків порід до реальних умов стану ґрунтів. Як зазначено вище, прилад дозволяє здійснювати автоматизований контроль тиску в камері навантаження, лінійних та об'ємних деформацій зразка, а також витрати води, що проходить через зразок у режимі реального часу.

Серія випробувань фільтраційних параметрів порід проведена при геостатичному тиску в діапазонах 100 – 300 кПа, гідравлічний градієнт контролювався тиском у зразку та становив 20 кПа, що відповідало реальним

умовам ґрунтового масиву. Час випробування складав 24 години. Перед проведенням фільтраційного дослідження проводилося консолідаційне доуцільнення зразків при навантаженнях, що відповідали геостатичному тиску, до умовної стабілізації деформацій за чинними нормативами.

Перша серія випробувань проводилася в умовах фільтрації перпендикулярно до напластування. На рис. 6 наведено результати лабораторних випробувань, що показують зміну коефіцієнта фільтрації лесових порід ( $K_f$ ) у часі ( $t$ ).

На рис. 6 простежується чітка залежність зменшення значення ( $K_f$ ) зі збільшенням геостатичного тиску та незмінному значенні гідралічного градієнта. Значення  $K_f$  (при 100 кПа) змінюються від 0,008835 до 0,04325 м/добу, при  $\sigma_z = 200$  кПа – від 0,0021 до 0,0253 м/добу, при  $\sigma_z = 300$  кПа – від 0,0004 до 0,0023 м/добу. Найінтенсивніші зміни відбуваються в перші 10 годин фільтрації, потім процес набуває загасаючого характеру. Статистична достовірність визначається значеннями  $R^2 = 0,79 \dots 0,94$ .

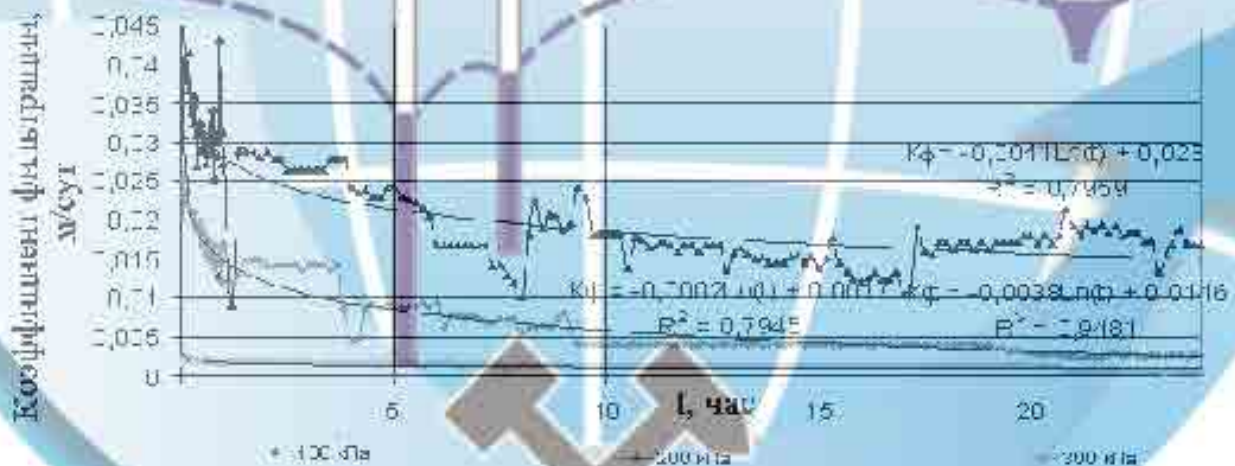


Рисунок 6 – Результати фільтраційних випробувань лесових порід при фільтрації перпендикулярно до напластування: 100, 200, 300 кПа – діапазон радіального навантаження

Аналіз показує, що розбудова структури лесу відбувається поетапно. Спочатку, коли йде замочування породи, руйнуються основні структурні зв'язки у лесах. Надалі під впливом фільтраційних процесів порода

уцільнюється, одночасно продовжується винесення солей та нерозчинних частинок. Підтверджуються відомі положення, що структурні зв'язки руйнуються через те, що сили взаємодії між частинками лесу інтенсивно знижуються зі збільшенням відстані між ними. Для переміщення частинки породи на будь-яку відстань або на поверхню потрібно зробити певну роботу, яка може розглядатися як енергія активації.

На рис. 7 показана близька до логарифмічної залежність між значеннями відносної об'ємної деформації та коефіцієнта фільтрації в часі. Значення відносної об'ємної деформації підтверджують зазначені процеси руйнування та розбудови структури лісової породи. Статистична достовірність параметрів  $R^2=0,63, 0,91$



Рисунок 7 – Результати фільтраційних випробувань лесових порід при фільтрації перпендикулярно до напластування 100, 200, 300 кПа – радіальні навантаження

Зміна об'ємної деформації у часі характеризується на рис. 8. Для дослідження гідрогеомеханіки горизонтальної фільтрації, зразки породи відбиралися паралельно нашаруванню.

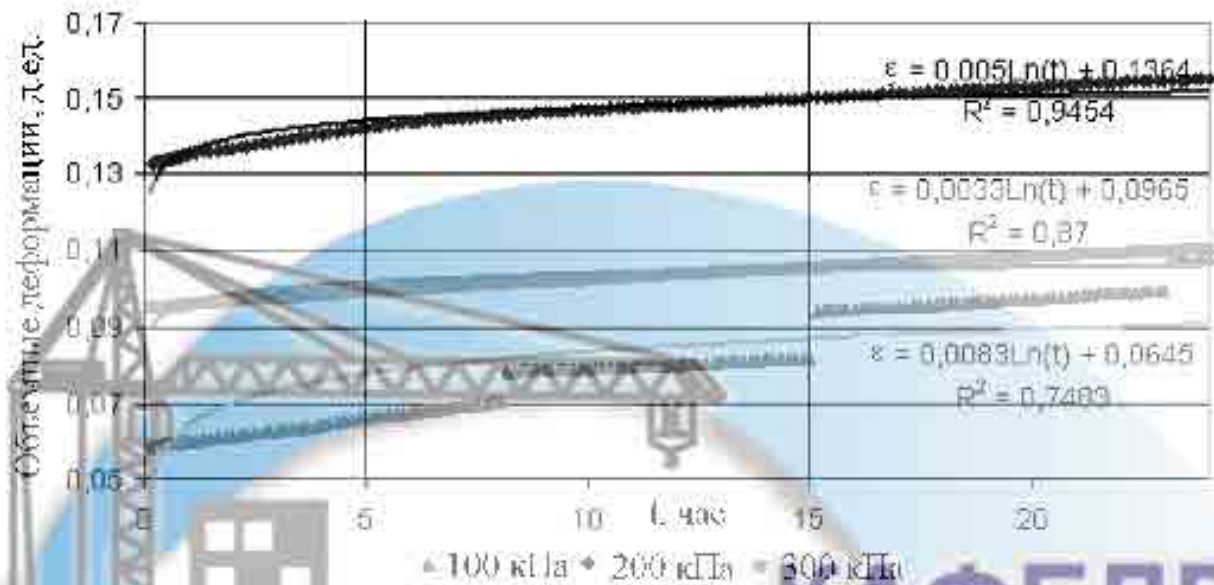


Рисунок 8 – Результати фільтраційних випробувань лесових порід при фільтрації перпендикулярно до напластування: 100, 200, 300 кПа – радіальні навантаження

На рис. 9 наведено результати лабораторних випробувань, які покажуть зміну коефіцієнта фільтрації лесових порід ( $K_f$ ) у часі з урахуванням зазначеного напрямку фільтрації.



Рисунок 9 – Результати фільтраційних випробувань лесових порід при фільтрації паралельно напластуванню: 100, 200, 300 кПа – радіальні навантаження

У даному випадку значення  $K_f$  при  $\alpha_f = 100$  кПа змінюються від 0,0082 до 0,0347 м/добу, при  $\alpha_f = 200$  кПа – від 0,0054 до 0,0207 м/добу, при  $\alpha_f = 300$  кПа – від 0,0038 до 0,0209 м/добу. Статистична достовірність оцінюється значеннями  $R^2 = 0,76 \dots 0,96$ .

Цікаві результати дає порівняння двох серій випробувань, наприклад,  $K_f$  при перпендикулярній фільтрації менше, ніж при паралельній. Однак, при цьому, для радіального навантаження 100 кПа (схема фільтрації перпендикулярно до напластування) верхнє значення  $K_f$  досягає 0,043 м/доб. Також не відзначається відносно рівномірна фільтрація, як у попередньому випадку. Спостерігаються різкі стрибки фільтраційних значень. Значення коефіцієнта фільтрації у горизонтальному та вертикальному напрямках відрізняються до 9 разів.

Під час проведення випробувань із радіальним навантаженням  $\alpha_f = 300$  кПа, відзначено такі особливості. У проміжку часу від 3 до 9 годинами у всіх зразках породи спостерігалася суфозія, що переходить у формування ерозійних каналів (рис. 10). При менших тисках також була суфозія, проте її інтенсивність була помітно слабшою.

Рисунок – 10 Ерозійні канали у зразках лесових порід

Очевидно, через ерозійні промоїни повинні збільшуватися фільтраційні показники ґрунту, проте (рис. 8) на узагальненій кривій результатів випробувань при  $\alpha_f=300$  кПа це не спостерігається. Можливим поясненням цієї



обставини можливо існування двох стадій формування ерозійної промоїни. Спочатку з допомогою суфозії утворюється замкнутий канал, який виконує функції гідравлічного провідника, а стокова поверхня інертна. Надалі, при збільшенні радіальних навантажень до 300 кПа, що перевищують нейтральні напруження всередині порожнини, відбувається сплеск інтенсивності суфозії і порожнина сполучається зі стоковою зоною зовні поза зразком. Ця стадія відповідає переходу суфозії у *глибинну ерозію*. Описані стадії передували формуванню зсуву течії на ж/м "Тополь" у м. Дніпро.

На рис. 11, де показана залежність об'ємних деформацій та проникності зразків, найбільш тісною є кореляція для випробувань з радіальним навантаженням 300 кПа. Помітно, що об'ємна деформація найбільш чутлива до суфозійних та ерозійних процесів усередині ґрунтових зразків.

З аналізу результатів випробувань не визначено впливу відомої анізотропії структури лесів природного складання. Можна зробити висновок, що відбувається зміна природних домінуючих факторів на техногенні (геомеханічне та фільтраційне навантаження), які визначають поведінку лесових масивів.

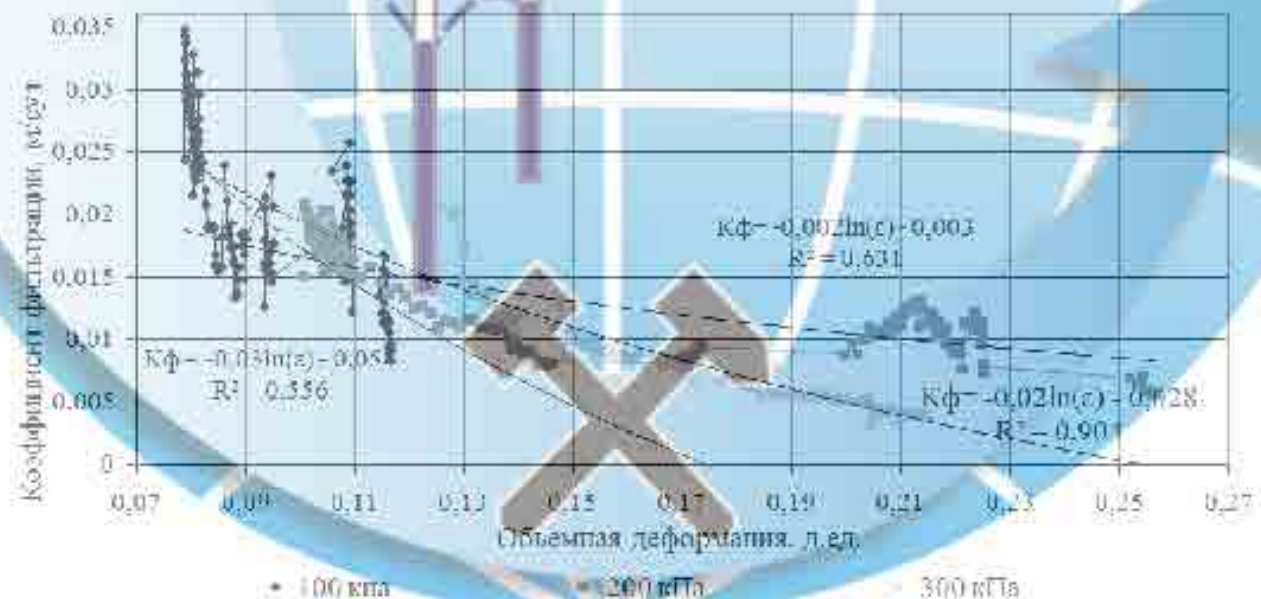


Рисунок 11 – Результати фільтраційних випробувань лесових порід при фільтрації паралельно напластуванню: 100, 200, 300 кПа – діапазон навантаження

Таким чином, у цій серії випробувань були оцінені зміни, що відбуваються в лесах при їх насиченні та фільтрації ґрунтового потоку, які провокують процес переходу структури лесу в якісно новий із зміною характеру структурних зв'язків та новими геомеханічними показниками. Для фільтрації перпендикулярно напластування простежується залежність зменшення проникності зі збільшенням геостатичного тиску при постійному значенні гідравлічного градієнта. Отримано близьку до логарифмічної залежності між відносною об'ємною деформацією та проникністю в часі. Значення відносної об'ємної деформації підтверджують процеси руйнування та перебудови структури лесової породи за значної статистичної достовірності параметрів ( $R^2=0,55\dots0,91$ ). Гідрогеомеханіка горизонтальної фільтрації показує зміну коефіцієнта фільтрації лесових порід у часі в діапазоні  $0,0038\dots0,0209$  м/доб при кореляції  $R^2=0,75\dots0,96$ .

За результатами експериментів встановлено інверсію фільтраційної анізотропії лесів у порівнянні з її природним становищем, що слід віднести до техногенних змін ґрунтових масивів. При радіальному навантаженні  $\sigma_r = 300$  кПа спостерігається суфозія, що переходить в ерозійний розмив із попередньою фазою формування гідравлічно-інертних порожнин.

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ЛЕСОВИХ МАСИВІВ МІСТА ДНІПРО

#### 3.1 Ступінь ураженості території міста зсувними процесами

Місто Дніпро є одним із найбільших міст України, в якому щорічно спостерігається зсувна діяльність. У місті та його околицях налічується близько 30 великих ярів та балок, загальна довжина яких становить 130 км. Місто розташоване на берегах річки Дніпро і має крутий правий берег, де більшою мірою проявляються ерозійні та зсувні процеси, і пологий лівий берег.

Місто розташоване в межах Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну та гідрогеологічної області Українського щита. У межах цієї території виділяють такі водоносні горизонти та комплекси:

- четвертинні відкладення (альювіальні, альювіально-делювіальні, еолово-делювіальні)
- відкладення палеоген-неогенової системи;
- кристалічні породи архею та протерозою

У нижній частині розрізу четвертинних відкладень формуються лесоподібні суглинки з прошарками пісків. Глибина залягання ґрунтових вод становить 0,5-10,0 м, а в межах правобережних високих терас – 14-25 м.

Лесові відкладення підстиляються шаром бурих та червоно-бурих суглинків, які можуть виконувати роль водостійкого горизонту та поверхні ковзання для зсувів.

Активізація більшості зсувів, зафіксованих на території м. Дніпро, відбувається у техногенному рельєфі, сформованому під впливом містобудівної діяльності протягом 230 років.

Розвитку ерозійних та зсувних процесів у місті Дніпро сприяють потужна товща лесоподібних порід, що залягають вище за рівень русла Дніпра; сильне розчленовування поверхні з амплітудою 100 м; зливовий характер випадання атмосферних опадів у теплий період року.

У місті в зсувонебезпечних районах (рис. 12) розташовано понад 500 житлових будинків, з яких 40 підлягають відселенню, та близько 50 промислових підприємств.



Рисунок 12 – Розповсюдження зсувних процесів у межах міста Дніпро [9]

Особливо небезпечна активізація зсувних процесів зафіксована на схилах балок Аптекарської, Червоноповстанської, Євпаторійської, Зустрічної, Войцеховича та ін. (табл. 2). Найбільшим за масштабом, наслідками та завданими збитками є зсув на ж/м «Тополь-1», тому охарактеризуємо його більш детально.

Внаслідок експлуатації житлових будинків зафіксовано збільшення інфільтраційного живлення ґрунтових вод за рахунок витоків з підземних водонесучих мереж. Наслідком локального замочування лесових просадних ґрунтів стали деформації різного ступеня практично всіх будинків житлового масиву. Протягом 10-15 років з моменту введення в експлуатацію мікрорайону зафіксовано тріщини деформаційного характеру на стінах будинків, порушення вимощення навколо них, провали комунікаційних локів, вологість стін та вода у підвалах.

Таблиця 2

## Зсувні схили балок м. Дніпро

| Загальний вигляд зсуву   | Тип зсуву   | Фактори формування  |
|--|---|---|
| <p>балка Аптекарська<br/>(вул. Вуглова, червень 1976 р.)</p>        | <p>Тип зсуву - глибокий, за характером - зсув-обвал ниркоподібної форми</p>   | <p>Підрізка схилу кар'єром, привантаження побутовими відходами та насичення схилу водою, підйом рівня ґрунтових вод</p> |
| <p>балка Червоноповстанська<br/>(вул. Сірко, жовтень 1983 р.)</p>  | <p>Тип зсуву – видавлювання з наступним просіданням, глетчеровидної форми</p> | <p>Зміна вологості внаслідок підйому рівня ґрунтових вод, втрат з водонесучих комунікацій</p>                           |
| <p>балка Євпаторійська<br/>(ж/м «Сокол-2», 1982 - 1983 рр.)</p>   | <p>Тип – поверхнєві зміщення. Зсув структурний</p>                            | <p>Навантаження схилу балки багатоповисловою забудовою, підйом РГВ за рахунок втрат з водо несучих комунікацій</p>      |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <p>балка Зустрічна<br/>(ж/м «Тополя-1», червень 1997р)</p>  | <p>Тип – зсув течія,<br/>глибокий,<br/>глетчеровидної<br/>форми.</p>                       | <p>Навантаження та<br/>підрізка схилу,<br/>водонасичення<br/>лесового схилу,<br/>невпорядкований<br/>поверхневий стік</p> |
| <p>балка Войцеховича<br/>(Кировський район, 2011р.)</p>    | <p>Тип зсуву –<br/>глибокий, за<br/>характером – зсув-<br/>обвал фронтальної<br/>форми</p> | <p>Навантаження та<br/>підрізка схилу,<br/>водонасичення<br/>лесового схилу</p>   |

Невпорядкований стік поверхневих вод, видалення дернового покриву, вирубка дерев, вертикальне підризання схилу призвели до того, що на його поверхні утворилися промоїни V-подібної форми завдовжки 3-15 м, шириною до 3 м, вторинні яри в придонній частині, заболочування.

Заключна фаза аварії виявилася у вигляді глибинної ерозії (див. п. 2.4), що перейшла в руйнівний зсув-течію. Цьому передували деформації осідань ґрунтів та споруд у формі уступів, суфозійне винесення частинок ґрунту.

Сучасними зсувнонебезпечними територіями м. Дніпро також є:

- балка Тунельна - водонасосна станція по вул. Космічна;
- балка Євпаторійська – ж/м Сокіл, приватний сектор;

- балка Рибальська (Войцеховича) – 14-поверхові будинки по вул.Гавриленка та Нахімова, школа №75, школа №22;
- балка Зустрічна - житлові будинки на вул. Грушева, вул. Франка;
- балка Діївська – будинок по вул. Гайдамацькій.
- схил на ж/м «Західний» – територія ТОВ ТК «Автосвіт».

### 3. 2 Інженерно-геологічні умови прияружного схилу у Новокайдацькому районі

У геоморфологічному відношенні територія досліджень належить до правобережної частини корінного схилу річки Дніпро, прорізаної ярочно-балковою мережею. Безіменний яр у районі вулиць Мукачівської – Прияружної–Десантної простягається від вододілу до заплави річки Дніпро (рис. 13).



Рисунок – 13 Схема розташування ділянки досліджень

Верхів'я яру має грушоподібну форму, у північному напрямку борти звужуються і яр набуває глибоко врізаної каньйоноподібної форми (рис. 14). Борти яра круті. Глибина врізання у схили змінюється від 7-14 м у верхній частині до 18-22 м – у середній. Схили яру привантажені насипними ґрунтами з будівельного та побутового сміття (див. рис. 14).

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Рисунок 14 – Характер схилів яру

Інженерно-геологічна будова ділянки проілюстрована на рис. 15 та представлена лесовими суглинками та сугінками.

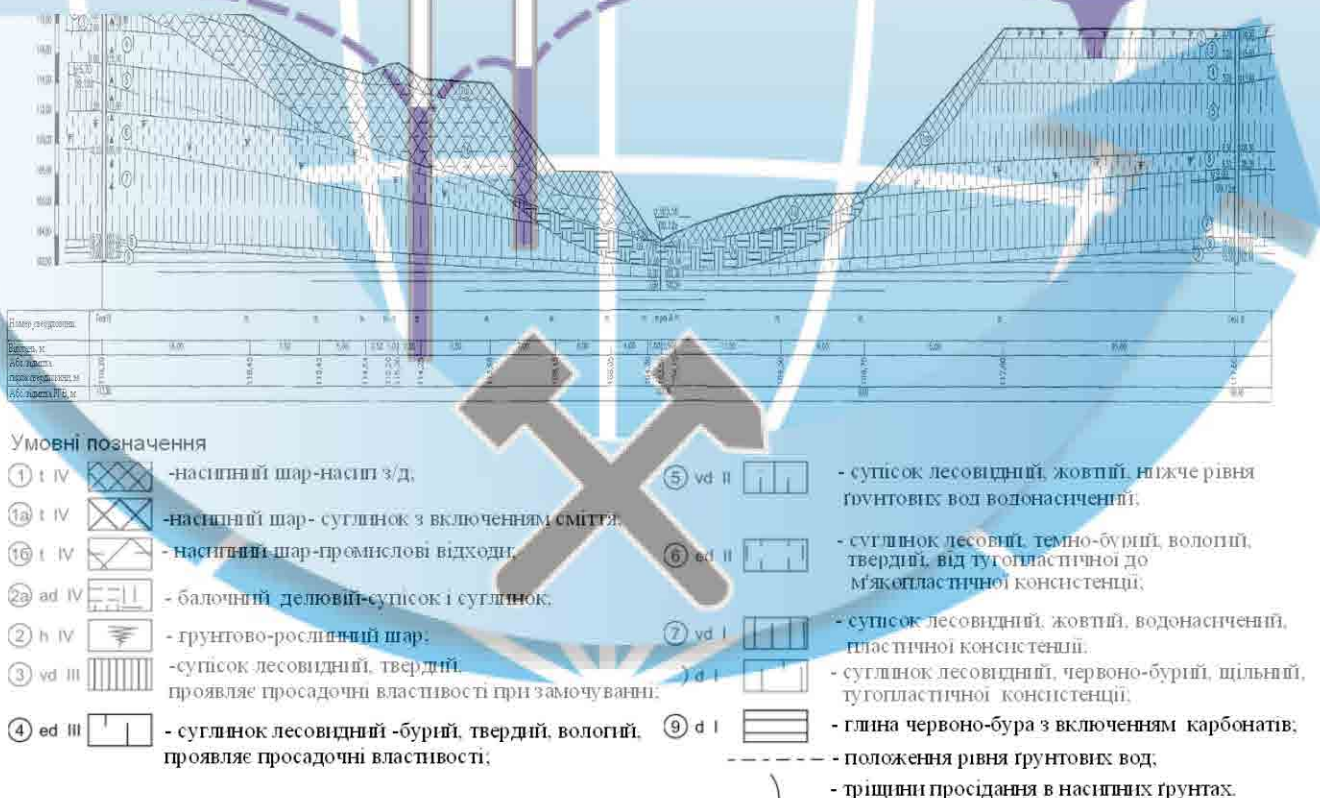


Рис. 15 Поперечний розріз яру



На підставі даних розвідувального буріння, результатів лабораторних досліджень, а також матеріалів вишукувань минулих років, досліджувана товща відкладень за номенклатурними ознаками, просторовою зміною фізико-механічних властивостей ґрунтів, згідно з ДСТУ, «Посібники з проектування будівель та споруд», розділена на 10 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ). Нумерація ІГЕ відповідає виділеним геологічним шарам.

Додатково за складом та з урахуванням умов формування насипні ґрунти поділені на ІГЕ-1, ІГЕ-1а; ІГЕ-1б.

ІГЕ-1 - насипний шар - тіло залізничного насипу;

ІГЕ-1а - насипний ґрунт - будівельне та побутове сміття.

Будівельне сміття представлено щебенем, уламками бетону, шматками дроту, битою цеглою. Побутове сміття представлено скляними та пластиковими пляшками, битим склом, уривками одягу, паперу, уламками деревини та іншим сміттям.

Насипний ґрунт ІГЕ-1а за давністю відсипки відноситься до невлежаних, за складом та щільністю неоднорідний, відсипався непланомірно і представляє стихійно утворене звалище.

В даний час жителі побутове сміття продовжують скидати в яр і на його схили.

ІГЕ-1б – Насипний шар – представлений промисловими відходами – доменним шлаком, золою, бетоном, металевим брухтом, ділянками з включенням суглинку. По давності відсипання належить до злежаного, за складом і щільністю неоднорідний, відсипався непланомірно. У верхів'ї яру та на ділянці утворення тріщин «усихання» - у складі насипного ґрунту шлак із вмістом суглинку до 40%.

ІГЕ-2а – Балковий делювій - супісок, суглинок темно-сірого, жовто-бурого, палево-бурого кольору, від вологого до водонасиченого, від напівтвердої до плинно-пластичної консистенції, шаруватої структури; у покрівлі шару з корінням рослин, із включенням побутового та будівельного сміття до 5%.

ПЕ-2 – ґрунтово-рослинний шар - суглинок чорний, маловологий, твердий, гумусований, має обмежене поширення.

ПЕ-3 – Супісок лесовий палево-жовтий, легкий, твердий, макропористий, виявляє просадні властивості при замочуванні. Зустрічається на бортах яру.

ПЕ-4 - Суглинок лесовий жовто-бурий, бурий, до рівня підземних вод (РПВ), твердий, виявляє просадкові властивості; нижче РПВ водонасичений від тугопластичної до м'якопластичної консистенції.

ПЕ-5 – Супісок лесова жовта, буро-жовта, тверда, макропориста, виявляє просадні властивості при замочуванні; нижче за рівень підземних вод водонасичена, пластичної консистенції.

ПЕ-6 – Суглинок лесовий, темно-бурий, коричнево-бурий «похований ґрунт», - твердий, із включенням карбонатів у вигляді гнізд та з домішкою рослинних залишків (втрати при прожарюванні 2,5% - 4.0%); нижче за рівень підземних вод водонасичений, від тугопластичної до м'якопластичної консистенції.

ПЕ-7 – Супісок лесовий жовтий, сірувато-жовтий, водонасичений, пластичної консистенції, записочений, з плямами гідроокислів заліза та включенням карбонатів.

ПЕ-8 - Суглинок лісовий червоно-бурий, водонасичений, щільний, в'язкий, від тугопластичної до напівтвердої консистенції з включенням карбонатів у вигляді гнізд та конкрецій.

ПЕ-9 – Глина червоно-бура, щільна, важка, напівтверда консистенція, з включенням карбонатів.

ПЕ-8 - Суглинок лісовий червоно-бурий, водонасичений, щільний, в'язкий, від тугопластичної до напівтвердої консистенції з включенням карбонатів у вигляді гнізд та конкрецій.

ПЕ-9 – Глина червоно-бура, щільна, напівтверда консистенція, з включенням карбонатів.

Інженерно-геологічна будова досліджуваної ділянки ілюструється геолого-літологічним розрізом (рис. 15). Рекомендовані показники фізичних і

міцнісних властивостей інженерно-геологічних елементів, необхідних для розрахунку стійкості схилу, наводяться в таблиці 3.

Ділянка досліджень поблизу яру представлена одноповерховою житловою забудовою з централізованим водопостачанням та відсутністю господарсько-побутової каналізації. Вершина яру підходить впритул до однієї з найбільш навантажених залізничних гілок Дніпро–Верховцеве.

Таблиця 3

## Розрахункові показники фізико-механічних властивостей ґрунтів

| Номер ПГЕ | Питома вага ґрунтів, $\gamma$ ,<br>кН/м <sup>3</sup> |                             | Зсув швидкий<br>неконсолідований<br>при природній<br>вологості |                     | Зсув швидкий<br>неконсолідований<br>при повному водо-<br>насиченні |                     | Модуль<br>деформації E,<br>кПа |                    |
|-----------|--|-----------------------------|--|---------------------|--|---------------------|--------------------------------|--------------------|
|           | Природна<br>вологість                                | Повне<br>водонасиче-<br>ння | Кут<br>внутрішнь-<br>ого тертя<br>$\phi$ , град.               | Зчеплення<br>с, кПа | Кут<br>внутрішнь-<br>ого тертя<br>$\phi$ , град.                   | Зчеплення<br>с, кПа | Природ-<br>ний                 | Водона-<br>сичений |
| 16        | 17,4   | 18,80                       | 19   | 10                  | 2  | 10                  | -                              | -                  |
| 2         | 18,74  | 19,18                       | 10,55  | 22,02               | -  | -                   | 7                              | 3                  |
| 3         | 15,73  | 18,72                       | 22,24  | 55,58               | 11,59  | 8,7                 | 15                             | 3                  |
| 4         | 16,83  | 19,21                       | 25,27  | 70,98               | 14,7   | 9,8                 | 15                             | 4                  |
| 5         | 16,70  | 18,68                       | 20,21  | 60,55               | 15,0   | 6,6                 | 14                             | 8                  |
| 6         | 19,48  | 19,76                       | 13,15  | 42,47               | 10,2   | 39,1                | 12                             | 10                 |
| 7         | 19,53  | 19,57                       | -  | -                   | 13,2   | 30,7                | 9                              | -                  |
| 8         | 19,87  | 19,90                       | -  | -                   | 15,4   | 42,3                | 12                             | 10                 |
| 9         | 19,93  | 20,00                       | -  | -                   | 6,6  | 36,0                | -                              | -                  |

Для збирання та відведення поверхневих вод з території, розташованої вище залізниці, в залізничному насипі, прокладено водопропускну споруду з

приймальною криницею глибиною 9,90 м, через яку поверхнева вода зливається в колектор у верхів'я яру.

Зміцнення укосів виконано шляхом відсипання доменного шлаку та суглинку (рис. 16). Схили яру та його верхів'я присипані побутовим сміттям з уламками залізобетону, битої цегли.



Рис. 16 Відсипання схилу яру

При обстеженні ділянки яру відзначені наступні інженерно-геологічні процеси та явища, здатні активізувати зсув:

- усадка насипних ґрунтів з утворенням на поверхні тріщин «усихання» із шириною розкриття від 0,2 м до 0,8 м та глибиною до 3,0 м та більше;
- просідання лесових ґрунтів при аварійних витоках;
- обвали лесового та насипного ґрунту зі схилів (у верхів'ї яру)
- донна та бічна ерозія (у середній та нижній частині ділянки);
- підтоплення ділянок, що прилягають із півдня;
- тимчасове затоплення тальвегу яру;
- суфозійне руйнування ґрунтів у підшві схилів.

Основними причинами прояву вищезгаданих геологічних процесів є взаємодія комплексу природних умов та техногенної діяльності населення:

- зливовий характер літніх дощів, часті зимові відлиги з переважним поверхневим стоком;

- відсутність організованого відведення атмосферних опадів та поверхневих вод;
- особливості рельєфу досліджуваної території, значна крутість схилів;
- літологічні особливості геологічної будови корінного схилу, складеного лесоподібними суглинками та супісками;
- замочування ґрунтів у підшві схилу внаслідок неорганізованого скидання талих та дощових вод;
- утворення перешкод із побутового сміття для руху води в тальвезі яру та розвантаження підземних вод.

### 3.3 Розрахунок величини поверхневого стоку

Залежно від виду атмосферних опадів рік прийнято розділяти на два періоди: холодний (листопад - березень), коли поряд із твердими атмосферними опадами можуть випадати рідкі; теплий (квітень - жовтень) - з величезним переважанням рідких опадів. У холодний період випадає 20 – 25%, у теплий 75 – 80 % річної кількості опадів [2].

Середній річний обсяг поверхневого стоку обраної території визначають за методикою [8]:

$$W_{ст,р} = (\psi_{д,р} H_{д,р} + \psi_{т,р} H_{т,р}) F, \quad (1)$$

де  $\psi_{д,р}$ ,  $\psi_{т,р}$  - загальний коефіцієнт поверхневого стоку дощових та талих вод відповідно;  $H_{д,р}$ ,  $H_{т,р}$  - середня річна висота шару опадів, м;  $F$  - загальна площа басейну стоку, м<sup>2</sup>.

Значення коефіцієнта  $\psi_{т,р}$  приймається в межах 0,5 - 0,7 (приймаємо 0,6), а  $\psi_{д,р}$  визначається як середньозважена величина для всієї площі території водозбору з урахуванням середніх значень коефіцієнтів стоку для різного роду поверхні (останні можуть прийматися для водонепроникних покриттів в межах 0,6 – 0,8, для ґрунтових поверхонь – 0,2, для газонів – 0,1).

Для досліджуваної території, де близько 10% території має асфальтове покриття, 60% має ґрунтову поверхню та близько 30% – задерновано, отримаємо середньозважений коефіцієнт стоку.

$$\psi_s = 0,1 \times 0,07 + 0,6 \times 0,2 + 0,3 \times 0,1 = 0,22$$

Середньорічна кількість атмосферних опадів для м. Дніпро становить 513 мм = 0,513 м.

Площа басейну стоку для ділянки за результатами аналізу даних космічної зйомки (рис. 17) оцінюється близько  $1,3 \text{ км}^2 = 1300000 \text{ м}^2$ .

Таким чином, отримаємо річний обсяг поверхневого стоку

$$W_{\text{ст.р}} = (0,22 \times 0,513 \times 0,75 + 0,6 \times 0,513 \times 0,25) 1300000 = 210600 \text{ м}^3$$



Площа водозбору

Рис. 17 Площа поверхневого водозбору

### 3.4 Розрахунок стійкості лесового схилу

*Методика розрахунку стійкості схилу методом Маслова-Берера.* Якщо схил складений з різнорідних порід, то зсув ґрунту часто йде по деякій довільній кривій поверхні ковзання. І тут для визначення ступеня стійкості укошу найбільш виправданим є метод горизонтальних сил (метод Маслова-Берера) [20]. Перевагами цього методу є можливість урахування неоднорідності геологічної будови масиву.

Сутність методу полягає у визначенні активного тиску ґрунту в межах того чи іншого блоку як на підпірну стінку з вертикальною задньою гранню та з поверхнею ковзання, нахиленою до горизонту під кутом.

Коефіцієнт запасу за цим методом є відношенням зсувних сил до утримуючих і визначається формулою:

$$K_{\text{зан}} = \frac{\sum p_i [\operatorname{tg} \alpha_i - \operatorname{tg}(\alpha_i - \psi_i)]}{\sum p_i \operatorname{tg} \alpha_i} \quad (2)$$

де  $p_i$  - вага блоку, т;  $\alpha_i$  - кут нахилу площини ковзання цього блоку до горизонту, град;  $\psi_i$  - кут зсуву ґрунту при навантаженні, що дорівнює вазі блоку, град.

$$\psi = \operatorname{arctg} \left( \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{p_0} \right), \quad (3)$$

де  $c$  - питоме зчеплення ґрунту, т/м<sup>2</sup>;  $\varphi$  - кут внутрішнього тертя, град.;  $p_0$  - середній питомий тиск у межах розрахункового блоку, кг/см<sup>2</sup>;

$$p_0 = \frac{p_i}{l}, \quad (4)$$

де  $l$  - довжина розрахункового блоку, м.

*Обґрунтування вибору поверхні ковзання.* Розрахунок стійкості схилу виконаний для лівого схилу яру на вул. Десантна, вздовж лінії розрізу V - V' (рис. 18). Передбачувана поверхня ковзання, для якої визначався коефіцієнт запасу стійкості схилу, обрана в межах поширення лесових суглинків і супісків ПЕ 5 і 6 (рис. 19) вздовж поверхні рівня ґрунтових вод. Можлива поверхня зсуву ґрунтового масиву в ґрунтах даного типу визначається розташуванням поверхні дзеркала підземних вод, та характером впливу підвищення вологості ґрунту на його міцнісні властивості.

Також виконано розрахунок стійкості схилу в умовах можливого підвищення рівня підземних вод на даній ділянці в межах тієї ж поверхні ковзання.

*Розрахунок стійкості схилу.* Для виконання розрахунків стійкості схилу за заданим напрямом інженерно-геологічний розріз був умовно розбитий на 9 розрахункових блоків. Для кожного блоку визначено його геометричні розміри, об'єм, знайдена вага залежно від літологічного складу блоку, визначено кути нахилу площини ковзання в рівнорозмірному масштабі та кути зсуву, а також середнє питоме навантаження на погонний метр схилу. Всі перераховані вище параметри, а також фізико-механічні характеристики ґрунтів для різного стану вологості, результати розрахунку стійкості ґрунту за методом Маслова-Берера представлені в таблицях 3 і 4.

Передбачувана поверхня ковзання, для якої виконувались розрахунки, наведена на схемі розрахунку (рис. 19) та позначена червоною лінією.

В результаті виконаних розрахунків стійкості схилу отримано коефіцієнт запасу  $K_{\text{зап}}=1,56$ . Це свідчить про стійкий стан масиву.

Для розрахунку стійкості схилу за умов можливого підвищення рівня ґрунтових вод на 4 м використовувалися знижені кути внутрішнього тертя та зчеплення, а також відповідні показники питомої ваги для ІГЕ 1 – 6.

Коефіцієнт запасу у другому варіанті розрахунку становив  $K_{\text{зап}} = 1,43$ . Схил, як і раніше, зберігає стійкість, хоча розрахунок показує тенденцію до зниження запасу міцності. Причиною зниження запасу міцності схилу служить особливість лесоподібних ґрунтів, яка полягає у значному зниженні показників міцності та деформованості в умовах обводнення.

При цьому слід пам'ятати, що врахування запасу міцності виконаний для однієї передбачуваної площини ковзання і не може повною мірою відбивати картину напруженого стану всього масиву.





Рис. 18 Схема розташування гірничих виробок на досліджуваній ділянці Масштаб 1: 5000



Рис. 19 Схема до розрахунку стійкості схилу методом Маслова-Берера за інженерно-геологічним розрізом по лінії V-V\*

Таблиця 3

## Результати розрахунку стійкості схилу методом Маслова-Берера

| № блоку           | Середня висота блоку, $h_{ср}$ , м | Основа блоку $L$ , м | Об'єм блоку, $V$ , м <sup>3</sup> | Об'ємна вага, $T/M^3$ | Вага окремих частин блоку $P$ , Т | Вага блоку $P_1$ , Т | Середнє питоме навантаження, $p_0 = P/L$ , г/см <sup>2</sup> | Кут внутрішнього тертя, $\varphi^\circ$ | Зчеплення, $c$ , Т/м <sup>2</sup> | $tg\varphi + c/p_0$ | Кут зливу, $\psi^\circ$ ,<br>$tg\psi = tg\varphi + c/p_0$ | Ухил площі ковзання $\alpha^\circ$ | $tg\alpha$ | $tg(\alpha - \psi)$ | $[tg\alpha - tg(\alpha - \psi)]$ | $P_1 \times [tg\alpha - tg(\alpha - \psi)]$ | $P_1 \times tg\alpha$ |
|-------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|--|---|-----------------------------------|---------------------|---|------------------------------------|------------|---------------------|----------------------------------|---|-----------------------|
| 1                 | 0.58                               | 2.90                 | 1.68                              | 1.87                  | 3.15                              | 8.61                 | 2.97   | 22.20                                   | 0.87                              | 0.66                | 33.52   | 36.00                              | 0.73       | 0.04                | 0.68                             | 5.88  | 6.25                  |
|                   | 1.2                                |                      | 3.48                              | 1.57                  | 5.46                              |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
| 2                 | 0.58                               | 4.17                 | 2.42                              | 1.87                  | 4.52                              | 27.84                | 6.68   | 25.30                                   | 0.98                              | 0.56                | 29.33   | 31.00                              | 0.60       | -0.03               | 0.57                             | 15.91                                       | 16.72                 |
|                   | 1.63                               |                      | 6.80                              | 1.57                  | 10.67                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
|                   | 1.58                               |                      | 6.59                              | 1.92                  | 12.65                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
| 3                 | 1.5                                | 6.20                 | 9.30                              | 1.74                  | 16.18                             | 68.41                | 11.03  | 20.20                                   | 0.66                              | 0.40                | 21.73   | 22.00                              | 0.40       | -0.00               | 0.40                             | 27.30                                       | 27.62                 |
|                   | 1.2                                |                      | 7.44                              | 1.57                  | 11.68                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
|                   | 2.7                                |                      | 16.74                             | 1.68                  | 28.12                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
|                   | 1.2                                |                      | 7.44                              | 1.67                  | 12.42                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
| 4                 | 0.68                               | 7.20                 | 4.90                              | 1.74                  | 8.52                              | 89.45                | 12.42  | 20.20                                   | 0.66                              | 0.39                | 21.40   | 17.00                              | 0.31       | -0.08               | 0.38                             | 34.21                                       | 27.33                 |
|                   | 2.7                                |                      | 19.44                             | 1.74                  | 33.83                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
|                   | 1.27                               |                      | 9.14                              | 1.68                  | 15.36                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
|                   | 2.64                               |                      | 19.01                             | 1.67                  | 31.74                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
| 5                 | 1.2                                | 8.45                 | 10.14                             | 1.74                  | 17.64                             | 114.90               | 13.60  | 10.20                                   | 3.91                              | 0.46                | 24.89   | 11.00                              | 0.19       | -0.25               | 0.44                             | 50.71                                       | 22.32                 |
|                   | 3.88                               |                      | 32.79                             | 1.88                  | 61.64                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
|                   | 1.8                                |                      | 15.21                             | 1.67                  | 25.40                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
|                   | 0.62                               |                      | 5.24                              | 1.95                  | 10.22                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
| 6                 | 1.01                               | 19.20                | 19.39                             | 1.74                  | 33.74                             | 249.15               | 12.98  | 10.20                                   | 3.91                              | 0.48                | 25.53   | 11.00                              | 0.19       | -0.26               | 0.45                             | 112.95                                      | 48.40                 |
|                   | 5.2                                |                      | 99.84                             | 1.88                  | 187.70                            |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
|                   | 0.74                               |                      | 14.21                             | 1.95                  | 27.71                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
| 7                 | 2.25                               | 6.10                 | 13.73                             | 1.88                  | 25.80                             | 64.79                | 10.62  | 2.00                                    | 1.00                              | 0.13                | 7.36  | 11.00                              | 0.19       | 0.06                | 0.13                             | 8.46  | 12.59                 |
|                   | 3.4                                |                      | 20.74                             | 1.88                  | 38.99                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
| 8                 | 1.68                               | 5.90                 | 9.91                              | 1.88                  | 18.63                             | 35.94                | 6.09   | 2.00                                    | 1.00                              | 0.20                | 11.26   | 11.00                              | 0.19       | 0.00                | 0.20                             | 7.15  | 6.98                  |
|                   | 1.56                               |                      | 9.20                              | 1.88                  | 17.30                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
| 9                 | 1.2                                | 5.30                 | 6.36                              | 1.88                  | 11.96                             | 22.92                | 4.32   | 2.00                                    | 1.00                              | 0.27                | 14.91   | 11.00                              | 0.19       | -0.07               | 0.26                             | 6.02  | 4.45                  |
|                   | 1.1                                |                      | 5.83                              | 1.88                  | 10.96                             |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  |   |                       |
|                   |                                    |                      |                                   |                       |                                   |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     | 268.59                           | 172.68                                      |                       |
| Коефіцієнт запасу |                                    |                      |                                   |                       |                                   |                      |  |   |                                   |                     |   |                                    |            |                     |                                  | 1.56  |                       |

Таблиця 4

Результати розрахунку стійкості схилу при підвищенні рівня ґрунтових вод

| № блоку           | Середня висота блоку, $h_{cp}$ , м | Основа блоку $I$ , м | Об'єм блоку, $V$ , м <sup>3</sup> | Об'ємна вага, $T/m^3$ | Вага окремих частин блоку $P_i$ , Т | Вага блоку $P_i$ , Т | Середнє питоме навантаження, $p_0 = P/L$ , г/см <sup>2</sup> | Кут внутрішнього тертя, $\varphi^\circ$ | Зчеплення, $c$ , Т/м <sup>2</sup> | $tg\varphi + c/p_0$ | Кут здвигу, $\psi^\circ$ ,<br>$tg\psi = tg\varphi + c/p_0$ | Ухил площі ковзання $\alpha^\circ$ | $tga$ | $tg(\alpha - \psi)$ | $[tga - tg(\alpha - \psi)]$ | $P_i \times [tga - tg(\alpha - \psi)]$ | $P_i \times tga$ |
|-------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------|--|---|-----------------------------------|---------------------|--|------------------------------------|-------|---------------------|-----------------------------|--|------------------|
| 1                 | 0.58                               | 2.90                 | 1.68                              | 1.87                  | 3.15                                | 9.65                 | 3.33   | 11.50                                   | 0.87                              | 0.46                | 24.68  | 36.00                              | 0.73  | 0.20                | 0.53                        | 5.08                                   | 7.01             |
|                   | 1.2                                |                      | 3.48                              | 1.87                  | 6.51                                |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
| 2                 | 0.58                               | 4.17                 | 2.42                              | 1.87                  | 4.52                                | 29.88                | 7.17   | 14.70                                   | 0.98                              | 0.39                | 21.20  | 31.00                              | 0.60  | 0.17                | 0.43                        | 12.79                                  | 17.94            |
|                   | 1.63                               |                      | 6.80                              | 1.87                  | 12.71                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
|                   | 1.58                               |                      | 6.59                              | 1.92                  | 12.65                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
| 3                 | 1.5                                | 6.20                 | 9.30                              | 1.74                  | 16.18                               | 73.92                | 11.92  | 15.00                                   | 0.66                              | 0.31                | 17.30  | 22.00                              | 0.40  | 0.08                | 0.32                        | 23.77                                  | 29.85            |
|                   | 1.2                                |                      | 7.44                              | 1.57                  | 11.68                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
|                   | 2.7                                |                      | 16.74                             | 1.92                  | 32.14                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
|                   | 1.2                                |                      | 7.44                              | 1.87                  | 13.91                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
| 4                 | 0.68                               | 7.20                 | 4.90                              | 1.74                  | 8.52                                | 95.45                | 13.26  | 15.00                                   | 0.66                              | 0.31                | 17.00  | 17.00                              | 0.31  | 0.00                | 0.31                        | 29.17                                  | 29.17            |
|                   | 2.7                                |                      | 19.44                             | 1.74                  | 33.83                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
|                   | 1.27                               |                      | 9.14                              | 1.92                  | 17.56                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
|                   | 2.64                               |                      | 19.01                             | 1.87                  | 35.54                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
| 5                 | 1.2                                | 8.45                 | 10.14                             | 1.74                  | 17.64                               | 118.15               | 13.98  | 10.20                                   | 3.91                              | 0.46                | 24.51  | 11.00                              | 0.19  | -0.24               | 0.43                        | 51.33                                  | 22.95            |
|                   | 3.88                               |                      | 32.79                             | 1.88                  | 61.64                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
|                   | 1.8                                |                      | 15.21                             | 1.87                  | 28.44                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
|                   | 0.62                               |                      | 5.24                              | 1.99                  | 10.43                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
| 6                 | 1.01                               | 19.20                | 19.39                             | 1.74                  | 33.74                               | 249.72               | 13.01  | 10.20                                   | 3.91                              | 0.48                | 25.50  | 11.00                              | 0.19  | -0.26               | 0.45                        | 113.06                                 | 48.51            |
|                   | 5.2                                |                      | 99.84                             | 1.88                  | 187.70                              |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
|                   | 0.74                               |                      | 14.21                             | 1.99                  | 28.27                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
| 7                 | 2.25                               | 6.10                 | 13.73                             | 1.88                  | 25.80                               | 64.79                | 10.62  | 2.00                                    | 1.00                              | 0.13                | 7.36   | 11.00                              | 0.19  | 0.06                | 0.13                        | 8.46                                   | 12.59            |
|                   | 3.4                                |                      | 20.74                             | 1.88                  | 38.99                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
| 8                 | 1.68                               | 5.90                 | 9.91                              | 1.88                  | 18.63                               | 35.94                | 6.09   | 2.00                                    | 1.00                              | 0.20                | 11.26  | 11.00                              | 0.19  | 0.00                | 0.20                        | 7.15                                   | 6.98             |
|                   | 1.56                               |                      | 9.20                              | 1.88                  | 17.30                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
| 9                 | 1.2                                | 5.30                 | 6.36                              | 1.88                  | 11.96                               | 22.92                | 4.32   | 2.00                                    | 1.00                              | 0.27                | 14.91  | 11.00                              | 0.19  | -0.07               | 0.26                        | 6.02                                   | 4.45             |
|                   | 1.1                                |                      | 5.83                              | 1.88                  | 10.96                               |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  |                  |
| Коефіцієнт запасу |                                    |                      |                                   |                       |                                     |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             | 256.83                                 | 179.46           |
| Коефіцієнт запасу |                                    |                      |                                   |                       |                                     |                      |  |   |                                   |                     |  |                                    |       |                     |                             |  | 1.43             |

## 4 ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ ТЕРИТОРІЇ

При проведенні протизсувних заходів головним є точне визначення гідрогеологічних умов досліджуваної ділянки, а під час складання списку операцій – регулювання водного режиму зсувної зони.

Нерідко геологічні дослідження проводяться в областях з нестійкою ділянкою ґрунту, наприклад: берег моря, річки або круті гірські схили. Якщо попередній розрахунок коефіцієнта стійкості показує значення близьке до одиниці, необхідно провести ряд робіт, що підвищують ступінь стійкості ґрунту на небезпечній ділянці.

Значна різноманітність природних умов не дозволяє виробити загальний підхід до вирішення задачі підвищення стійкості мас ґрунту. Кожна місцевість потребує індивідуального підходу. Для цього створюється окремий проект з аналізу ділянки та вироблення захисних заходів.

Спочатку проводиться повне обстеження небезпечної ділянки. У тому числі виконується топографічна зйомка зсувної зони, складається її план з великою кількістю поперечних та поздовжніх профілів. Виконується буріння, глибина якого повинна перевищувати потужність шару землі, що оповзає. Вивчаються проби порід для встановлення фізико-механічних характеристик у всіх видимих шарів ґрунту.

В результаті дослідження відтворюються докладні профілі масиву ґрунту, за допомогою яких встановлюється можлива причина сходу ґрунту, обчислюється загальний коефіцієнт стійкості ділянки. Якщо ступінь стійкості вкрай низька, то розробляються відповідні заходи зі збільшення стійкості зсувної ділянки, наприклад, зниження рівня ґрунтових вод, зведення підпірних стін, попереднє укладання відкосів. Головним завданням щодо зсувів залишається точне визначення гідрогеологічних умов небезпечної ділянки та формуванні списку необхідних захисних заходів – регулювання водного режиму зсувної зони.

Необхідно усунути причину природної втрати стійкості масиву ґрунту. Найчастіше причинами зсувів може бути знищення природного упору під час виконання робіт із витягу ґрунту із землі, розмив берегів внаслідок природних явищ – рясні дощі, паводки, приплив-відлив. У такому випадку можуть допомогти заходи щодо зміцнення схилів: спорудження підпірних стін, установка низки підкріплюючих укіс паль.

Переважний спосіб профілактики виникнення зсувів – осушення небезпечної ділянки [13]. Воно може бути проведене відведенням води прямо по поверхні, так і за допомогою глибокого дренажу, наприклад, пристроєм спеціальних дренажних галерей, також можливе поєднання обох методів водовідведення. Контролювання та моніторинг природних водотоків дозволяє підвищити стійкість масиву ґрунту. Регулювання потребують як постійні річки, струмки, так і тимчасові, які з'явилися під час дощів.

Таким чином, на досліджуваній ділянці рекомендуються наступні захисні заходи для захисту схилів від підтоплення та порушення стійкості.

#### 4.1 Захист від розмивання поверхневим стоком

Заходи щодо організації поверхневого стоку повинні включати планування схилів та прилеглих до них ділянок, з яких вода може потрапляти на схили, влаштування системи відкритих водостоків та підземних колекторів [7, 15, 18].

Прокладання водонесучих комунікацій на зсувних та зсувонебезпечних територіях не допускається. У виняткових випадках і за відповідного техніко-економічного обґрунтування можливе розміщення водонесучих комунікацій на поверхні землі в прохідних або напівпрохідних каналах, які повинні виходити за межі зсувних та зсувонебезпечних територій.

Укоси та дно каналів повинні бути водонепроникними та захищеними від розмивання, це досягається витримуванням певного ухилу лотка каналу, а також застосуванням відповідних покриттів або облицювань. Поверхню

землі навколо колодязів із водонесучими трубами слід планувати з ухилом не менше 0,03.

На ділянках, що примикають до схилів, поверхневий стік слід регулювати за допомогою нагірних і водовідвідних каналів, лотків, а також валів, що захищають та забезпечують перехоплення поверхневих вод.

Нагірні та водовідвідні канали проектують при мінімальних ухилах паралельно горизонталям схилу і розташовують їх не ближче 6-15 м від брівки зсувного схилу з тим, щоб не погіршувалися умови стійкості схилу за рахунок витоку зливових вод у ґрунт схилу.

Усі водонесучі комунікації мають бути нанесені на зведений план. Одернування укосів є найпростішим і найнадійнішим засобом їх захисту від руйнування.

#### 4.2 Захист від підтоплення

Дренажна система повинна забезпечити на території, що захищається, зниження рівнів ґрунтових вод до необхідних величин, бути простою, довговічною та економічною в експлуатації.

За характером просторового розташування водоприймального та водовідвідного конструктивних елементів дренажів останні поділяються на горизонтальні, вертикальні та комбіновані.

Горизонтальний гравітаційний дренаж є найбільш поширеним видом дренажу, застосовується для захисту від підтоплення ґрунтовими водами значних територій, невеликих ділянок або окремих споруд і як самостійний елемент інженерного захисту зазвичай укладається на глибинах до 6-8 м.

У сучасних умовах промислової та міської забудови зазвичай влаштовується закритий дренаж трубчастого типу, хоча за певних обставин не виключається застосування відкритого горизонтального дренажу у вигляді траншеї або каналу.

Застосовуються три основні конструктивні типи:

- традиційної конструкції з трубчастою основою з керамічних, азбестоцементних, бетонних, чавунних, рідше пластмасових труб з двома шарами фільтруючого обсипання з пухкого сортованого матеріалу - піску, гравію, щебеню (рис. 20);

- з трубчастою основою та фільтруючими обгортками з різного типу тканих та нетканих мінеральних або полімерних матеріалів; ці обгортки можуть застосовуватися як самостійно, так і у поєднанні з обсипаннями з пухких матеріалів;

- із застосуванням трубофільтрів у поєднанні з одним шаром піщаного обсипання, або з обгорткою, що фільтрує, або без таких.

На досліджуваній ділянці рекомендується застосування горизонтального дренажу трубчастого типу з азбестоцементних або пластмасових труб з обсипанням, що фільтрує, з укладанням по тальвегу яру.

Діаметр труб дренажу визначається гідравлічним розрахунком і приймається не менше 200 мм. Мінімальні поздовжні ухили трубчастих дренажів - 0,003.

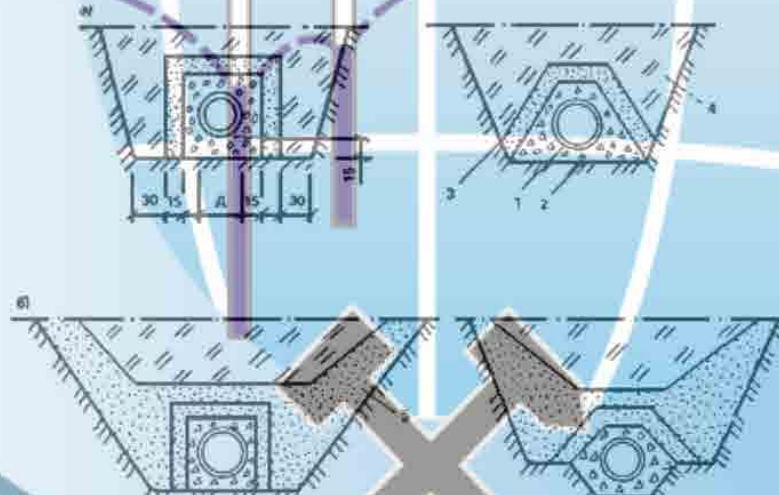


Рисунок 20 – Конструктивні схеми горизонтальних трубчастих дренажів, що укладаються в траншею: а - з двошаровим обсипанням; б-з тришаровим обсипанням. 1 – дренажна труба; 2 - щебінь або гравій; 3 - крупнозернистий пісок; 4 - зворотне засипання траншеї місцевим ґрунтом; 5 - різнозернистий пісок



## ВИСНОВОК

Зсуви є одними з найнебезпечніших інженерно-геологічних процесів за масштабами прояву та завданими збитками. Їхня активізація в межах міських забудованих територій має руйнівний, а іноді катастрофічний характер.

Серед причин, які здатні активізувати зсувні процеси, слід виділяти природні передумови та техногенні фактори. Природні передумови, серед яких фактори-умови (геолого-літологічні, геоморфологічні, гідрогеологічні, кліматичні) та фактори-процеси (тектонічні рухи, ерозія, абразія, землетруси), посилюються дією антропогенного характеру. А саме підвищується інтенсивність перебігу, концентрація, частота та масштаби прояву природних геологічних процесів.

Такі специфічні властивості лесів як низька природна вологість і водоміцність, висока пористість і просадність безпосередньо пов'язані з процесами зсуву ґрунту. Оцінка стійкості лісових схилів найчастіше проводиться шляхом обчислення коефіцієнта стійкості і характеризується ставленням утримуючих масив ґрунту сил до зсувів.

За результатами останніх досліджень встановлено, що в техногенно навантаженому масиві відбувається інверсія фільтраційної проникності, що призводить до виникнення та активізації глибинної ерозії в лесових породах та провокує зсуви течії

Складність інженерно-геологічних умов міста Дніпро пов'язана з особливостями геоморфології, що характеризується розвитком яружно-балкових систем, наявністю в розрізі лісів, що просаджують, суглинків, а також неглибоким заляганням і постійним підйомом рівнів ґрунтових вод за рахунок втрат з водонесучих комунікацій.

Основними причинами активізації зсувних процесів в умовах щільної забудови міста є невпорядкований стік поверхневих вод, видалення дернового покриву, вирубування дерев, підрізування та навантаження ґрунтових схилів, підтоплення та замочування лісових ґрунтів.

На потенційно зсувнонебезпечній ділянці прияружного схилу в Новокайдацькому районі міста зафіксовано усадку насипних ґрунтів, обвали, донну та бічна ерозію, суфозію, підтоплення.

Тальвег яру систематично закидається будівельним сміттям та побутовими відходами, що перешкоджає природному розвантаженню підземних вод та руху поверхневого водотоку. Таким чином, у тальвезі яру утворюється підпір ґрунтових вод, який постійно збільшується. Це у свою чергу призводить до підвищення рівнів ґрунтових вод у бортах яру, підтоплення території, зміни фізико-механічних властивостей гірських порід, що складають масив.

Басейн поверхневого водозбору яру становить близько 1300000 м<sup>2</sup>. За умови, що близько 10% території має асфальтове покриття, 60% – ґрунтову поверхню та близько 30% – задерновано, річний обсяг поверхневого стоку становить 210 600 м<sup>3</sup>.

За результатами розрахунків стійкості схилу в необхідному стані методом горизонтальних сил Маслово-Берера коефіцієнт стійкості становив 1,56. При розрахунку стійкості схилу за умов підняття рівнів ґрунтових вод, яке може статися в результаті підпору рівня ґрунтових вод, порушення поверхневого стоку, коефіцієнт запасу стійкості знижується до 1,43. Причиною зниження запасу міцності схилу є особливість лісоподібних ґрунтів, яка полягає у значному зниженні показників міцності та деформованості в умовах обводнення.

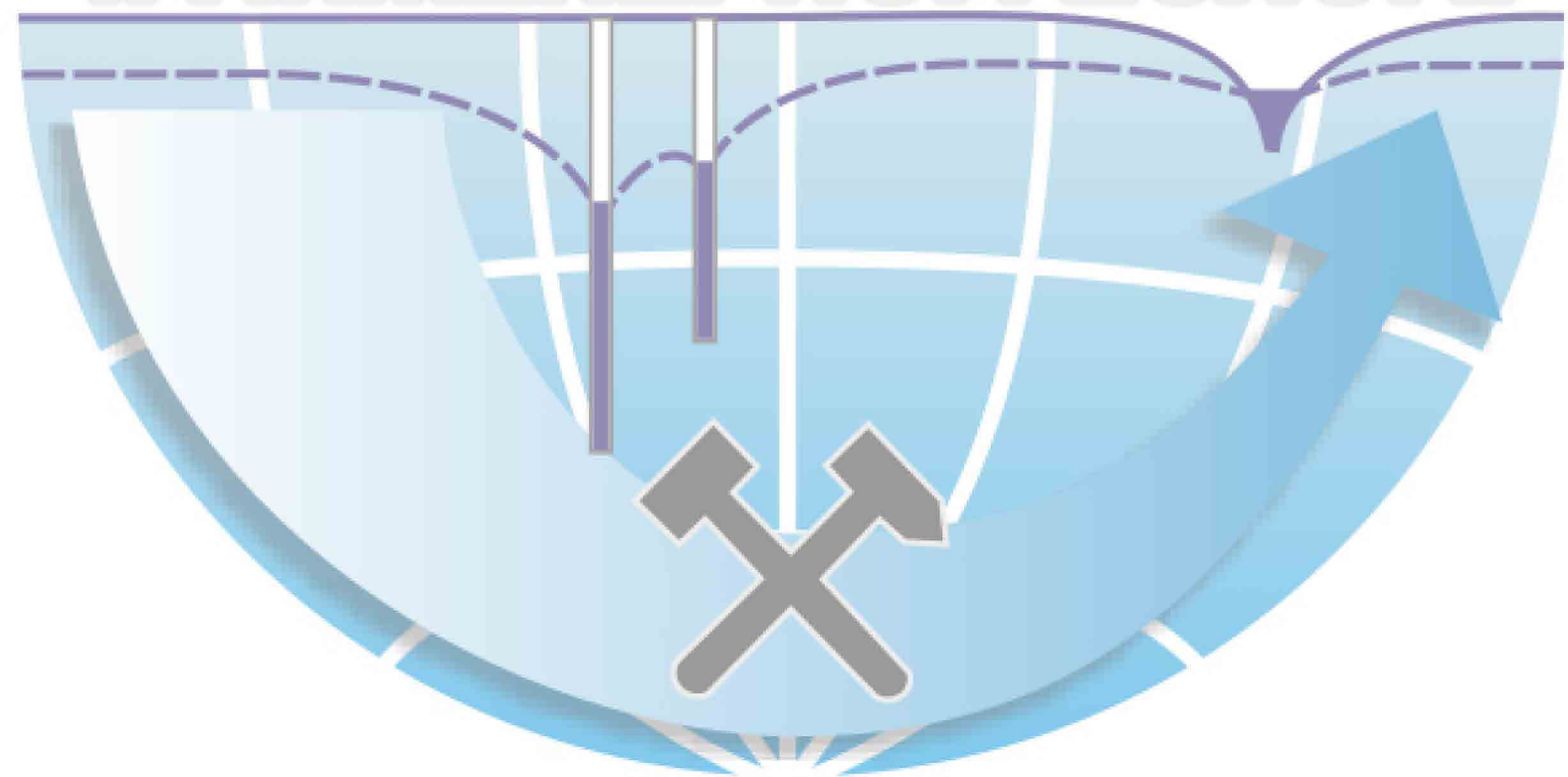
Основними методами захисту зсувнонебезпечних територій є превентивні (попереджувальні) та активні заходи. Превентивні, порівняно з ліквідацією наслідків, дозволяють уникнути великих фінансових витрат.

Ефективність протизсувних заходів визначається усуненням причин втрати природної стійкості масиву ґрунту. Тому на ділянці досліджень рекомендуються заходи щодо захисту схилів від підтоплення та організації поверхневого стоку.

Заходи з організації поверхневого стоку включають планування схилів та прилеглих до них ділянок, влаштування системи відкритих водостоків та підземних колекторів. На ділянках, що примикають до схилів, поверхневий стік регулюється за допомогою нагірних і водовідвідних каналів, лотків, а також валів, що захищають, що забезпечують перехоплення поверхневих вод.

Дренажна система повинна забезпечити зниження рівнів ґрунтових вод, бути простою, довговічною та економічною в експлуатації. У сучасних умовах міської забудови найефективніше використовувати закритий дренаж трубчастого типу.

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## Список використаних джерел

1. Абелев М.Ю. Слабі водонасичені глинисті ґрунти як підвалини споруд. – М, 1973. – 288 с.
2. Бабіченко В.М., Дячук В.А. (ред). Клімат України, Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, 2003. – 564 с.
3. Біда С. В., Великодній Ю. Й., Титаренко В. А., Ягольник А. М. Проблеми, які потребують наукових досліджень при проектуванні і будівництві в умовах зсувних територій / С. В. Біда, Ю. Й. Великодній, В. А. Титаренко, А. М. Ягольник // Галузеве машинобудування і будівництво. – Полтава, 2002. – Вип. 9. –С. 24-27.
4. Демчишин М.Г. Прогноз та попередження зсувних явищ на території України /М.Г.Демчишин. К.: Ін-т геол. наук, 1982.-53с.
5. ДБН В.1.1-3-97. Захист від небезпечних геологічних процесів. Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів.
6. Смелянова Е.П. Основні закономірності зсувних процесів /Е.П. Смелянова. – М.: Надра, 1972. – 308 с.
7. Екологічна безпека техноприродних систем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів / С. Гошовський, Г. Рудько та інші - Львів-Київ, 2002 - стор.230-233.
8. Зуска А.В. Кінематична модель зсувних схилів: монографія /А.В. Зуска; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014. –12 с.
9. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП – Київ: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство “Державний інформаційний геологічний фонд України”, 2013. – 29 іл. – 101 с.
10. Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення: ДБН В.1.1-24:2009. – [Чинний від 01-07-10]. – К.: Держстандарт України, 2010. – (Державний стандарт України). 180 с.

- 
11. Інженерна геодинаміка України та Молдови (зсувні геосистеми): [під ред. Г.І. Рудько, В.А. Осіюка]. – Чернівці: Букрек, 2012. –Т. 1. – 592 с.
12. Основи та фундаменти споруд. Будівельні норми: ДБН В.2.1-10-2009. [Чинний від 01-07-09]. – К.: Держстандарт України, 2009. – 104 с. – (Державний стандарт України).
13. Прогнози підтоплення та розрахунок дренажних систем на забудованих територіях. Посібник до БНіП 2.06.15-85с.
14. Рудько Г.І. Основи загальної, інженерної та екологічної геології/ Г.І. Рудько.- Чернівці: Букрек, 2003.-423с.
15. Рудько Г.І. Інженерна геодинаміка Західної України і Молдови: [монографія]/ Г.І. Рудько, В.А. Осіюк - Львів.: МАКЛАУТ, 2007.-808с.
16. Садовенко І.О., Дерев'ягіна Н.І. Дослідження механізму формування ерозійних деформацій лесових порід // Наукові праці УКРНДМІ НАН України. Випуск 13 (частина І). Донецьк. 2013. — С. 339-345.
17. Сергеев Е.М. Інженерна геологія / Е.М. Сергеев. – М.: МГУ, 1978. –384 с.
18. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності, /Л. Климчук, - Київ, 2008
19. Шеко А.І. Фактори формування та розвитку зсувів та селей /А.І.Шеко, В.С. Круподеров, І.В. Мельнева // Зсуви та селі. Центр міжнародних проектів ГКНТ. – М., 1984. – 16–51с.
20. Шашенко О.М. Механіка гірських порід / О.М. Шашенко, В.П. Пустовойтенко // Навчальний посібник для ВНЗ. – К.: Новий друк, 2014. – 400 с.
- КАФЕДРА  
ГІДРОГЕОЛОГІЇ  
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ