



**Ministry of Education and Science of Ukraine  
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Building, architecture and infrastructure

---

(faculty/TRC)

Transport infrastructure

---

(department)

Explanatory Note  
to Master's Thesis

Master

(higher education degree)

on the topic: **Conditioning the parameters of the robot for dry plots**  
according to educational curriculum Railway structures and track facilities  
in the Specialization: 273 Rail transport

(Specialization and its code )

Done by the student of the group: KГ2321 / Evgen KOSHKIN /

(name, surname)

Scientific Supervisor: /Associate Professor Volodymyr  
ANDRIEIEV /

(position, name, surname)

Normative controller : /Head of Dept. Oleksii TIUTKIN/

(position, name, surname)

Dnipro – 2025

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»  
 Кафедра: «Транспортна інфраструктура»  
 Рівень вищої освіти: «Магістр»  
 Освітня програма: «Залізничні споруди та колійне господарство»  
 Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»  
 (шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
 «Транспортна інфраструктура»

Олексій ТЮТЬКІН

(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата \_\_\_\_\_

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Кошкіну Євгену Валентиновичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: **«Обґрунтування параметрів роботи зсувних ділянок колії»**

Керівник роботи: Андрєєв Володимир Сергійович, к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від «16» лютого 2024 р. № 157ст

2. Строк подання студентом роботи: «12» січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу літературних джерел, що отримані під час пошуку в Internet.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):  
Вступ. Розділ 1.. Розділ 2. Розділ 3. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, до 10 слайдів).

## 6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Розділ 1 - 3	Андреев В.С		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1		
2	Розділ 2		
3	Розділ 3		
4	Висновки. Оформлення ВКР.		
5	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.		
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри		
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.01.2025	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Євген КОШКІН

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Володимир АНДРЕЄВ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи має 50с., 16 рис., 1 табл.

### **Тема: Обґрунтування параметрів роботи зсувних ділянок колії**

Об'єкт розробки – зсуви, зсувні процеси.

Мета роботи – обґрунтування параметрів роботи зсувних ділянок колії

Робота присвячена дослідженню особливостей та розвитку зсувів на ґрунтових насипах та схилах в тому числі та на залізницях.

У роботі проведено аналіз та класифікацію зсувів та зсувних процесів, які виникають при дії різних факторів. Порівняно чотири варіанти заходів боротьби зі зсувами. Вибрано – терасування схилів, як економічно та технічно дієвий при проектуванні.

Результати дослідження можуть бути використані залізницями при проектуванні залізничних насипів.

***Ключові слова:* ЗСУВ, ЗСУВНІ ПРОЦЕСИ, КОНТРБАНКЕТ, ТЕРАСУВАННЯ, НАСИПИ, СХИЛИ.**

## ЗМІСТ

	стор
<b>ВСТУП</b>	7
<b>1 АНАЛІЗ ПОХОДЖЕННЯ, ПОЯВИ І РОЗВИТКУ ЗСУВІВ</b>	10
<b>2 ЗСУВНІ ПРОЦЕСИ, ЇХ ПРОГНОЗУВАННЯ І БОРОТЬБА З НИМИ</b>	24
<b>3 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗСУВНОЇ ДІЛЯНКИ КОЛІЇ</b>	37
3.1 Варіанти протизсувних заходів	42
3.2 Вибір варіанту протизсувних заходів	45
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	49
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	50

## ВСТУП

Залізнична колія це комплексна технічна система, яка безпосередньо взаємодіє з рухомим складом, забезпечує заданий залізницею напрямок руху, сприймає і передає на природну основу виникаючі при цьому навантаження.

Залізнична колія складається з верхнього і нижнього будови. До верхньої будови шляху відносяться: рейки, кріплення (стикові і проміжні), підрейкові опори (шпали, брус, плити, рами), баластний шар; крім цього: з'єднання і перетину шляху (стрілочні переводи), з'єднувальні, вирівнюють пристрою.

До нижнього будови колії відносяться: земляне полотно, мости, естакади, труби і спеціальні споруди, споруди для пропуску води, тунелі, підпірні стіни, які зміцнюють і захисні споруди.

Існує безліч факторів, що впливають на деформацію земляного полотна: вплив рухомого складу, селеві всі фактори в одній роботі неможливо, тому ми зупинимося на одному з них, зсувах.

Зсув - зміщення вниз по схилу маси пухкої гірської породи під впливом сили тяжіння, особливо при насиченні пухкого матеріалу водою.

Зсуви виникають в разі порушення стійкості схилу природними процесами або господарською діяльністю людини. Сили зв'язності ґрунтів або гірських порід стають менше сили тяжіння. Вся маса пухкої гірської породи приходить в рух, що може привести до катастрофи.

Розвитку зсувів сприяють як нахил шарів землі в сторону ухилу, так і тріщини в породах, спрямовані в бік ухилу. У сильно зволжених глинистих породах зсуви набувають форми потоку.

Існує кілька видів зсувів:

1. Зсув ковзання - втрата рівноваги починається зі ковзання по деякій поверхні;
2. Зсув течії - зміщення відбуваються вигляді в'язко пластичної течії;
3. Зсув-консоль - втрата рівноваги починається в загальному випадку з освіти консольного блоку, його відділення, опускання і повороту.

3.1 Зсув-провал - порушення рівноваги почалося з вертикального зсуву.

3.2 Зсув-обвал - порушення рівноваги почалося з перекидання.

Освіта, розвиток і поширення зсувних процесів і явищ знаходяться в закономірному зв'язку з наступними факторами:

- 1) геоморфологічними умовами;
- 2) геологічною будовою схилів;
- 3) тектонікою;
- 4) кліважу;
- 5) гідрогеологічними умовами;
- 6) сучасними сейсмічними явищами;
- 7) гідрологічним режимом річок;
- 8) кліматичними умовами;
- 9) господарською діяльністю людини.

Зсувні ділянки піддаються географічній діагностиці, використовуючи яку вирішують три типи завдань:

- визначення структури зсуву, тобто простеження дзеркала ковзання, зони відриву, потужності порушеною товщі і її розчленування;
- вивчення гідрологічних умов;
- вивчення динаміки зсуву (швидкості переміщення, змін напруженого стану).

В якості основних успішно застосовують сейсмічний метод і електророзвідки, додаткових - магнітометрію, свердловини методи і терометрію.

Якщо косогір зсувній, необхідно з'ясувати, в якій стадії знаходиться зсув; в стані тривалої (з точки зору інженерної) стабільності (старий, затухшим, древній зсув) або в стані циклічної діяльності, і чи не може в процесі або в результаті будівництва дороги відновлювати свою діяльність старий зсув.

Як відомо, циклічна діяльність активного зсуву в загальному випадку розпадається на наступні стадії (фази, етапи, періоди):

- 1) відносна стабільність (тимчасового спокою);
- 2) пошквалювання, супроводжуване тотальними і локальними переміщеннями;
- 3) тотальні макроподвіжки (великі, іноді катастрофічні зсуви);
- 4) згасання, що супроводжується тотальними і локальними макроподвіжками.

Потім цикл повторюється. Локальні деформації також в загальному випадку проходять стадії пошквалювання, великих зрушень і згасання.

Стабілізація ділянок шляху на зсувних узгір'ях одна з найбільш складних проблем в забезпеченні надійності земляного полотна.

Для своєчасного попередження активізації зсувних деформацій з метою підвищення надійності шляху і забезпечення необхідної безпеки в сучасних умовах необхідна система моніторингу за станом зсувних ділянок.

Для проведення моніторингу необхідна паспортизація всіх потенційно небезпечних ділянок шляху, де можливі зсувні деформації.

Стабілізація ділянок шляху на зсувних узгір'ях одна з найбільш складних проблем в забезпеченні надійності земляного полотна.

Існує кілька видів протизсувних заходів:

1. Терасування схилу.
2. Пристрій анкерної конструкції.
3. Пристрій пальового протизсувного споруди.
4. Відсіпка контрбанкетів.
5. Зниження рівня ґрунтових вод.

Боротьба зі зсувами трудомісткий процес. Він включає в себе систему заходів, виконання яких стабілізує зсув, підтримуючи стан його відносної стабільності або згасання.

## 1 АНАЛІЗ ПОХОДЖЕННЯ, ПОЯВИ І РОЗВИТКУ ЗСУВІВ

*Загальні дані. Види зсувів.*

Під терміном «зсув» часто розуміють сам процес усунення або явище, тобто. результат зміщення ґрунтових мас (геологічне тіло, зсувні накопичення, зсувне тіло тощо). Таким чином:

1. Зсув (як явище) – це геологічне тіло, представлене зміщеними гірськими породами, що сформувалося в результаті розвитку на схилі зсувного процесу (рис. 1.1 та 1.2).

2. Зсув (як процес) – це переміщення зсувного тіла, що утворилося, по поверхні ковзання без втрати контакту з незсувним ложем.

Слід зазначити, що терміну «зсув» («landslide») там відповідає поняття «гравітаційні процеси», розуміючи під цим терміном також обвали, зсуви, сипи, осипи, крип, їх комбінації та інших [91, 95].

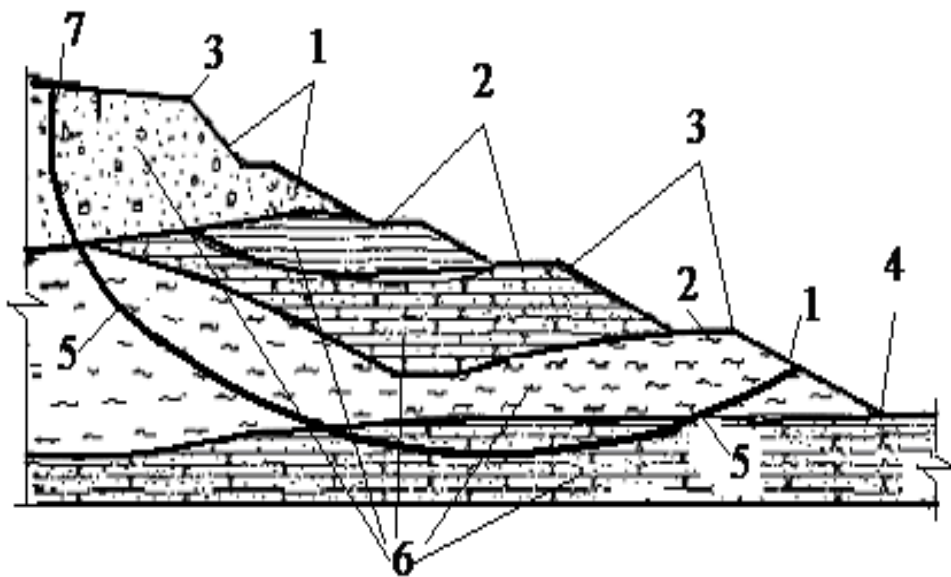


Рисунок 1.1 - Схема ґрунтового укосу та його основних частин. 1-уступ; 2-берма; 3-брівка уступу; 4-підшва укосу; 5- поверхня ковзання; 6– ґрунтові шари з різними властивостями; 7 - закольна тріщина.

Відповідно до сучасних уявлень, зсув - це також відрив і ковзне зміщення вниз схилом маси гірської породи. При цьому зміщення порід можуть відрізнятися масштабами породи, що сповзли, матеріальних втрат, людських жертв і т.д.

Зсуви відбуваються на укосах та схилах.

Відповідно до укосом називається штучно створена поверхня, що обмежує ґрунтовий масив, виїмку або насип (рис. 1.1 і 1.2).

До схилів відносять укоси утворені природним шляхом і обмежують ґрунтові масиви природного складання.

Крива, через яку відбувається руйнування укосу чи схилу, називається поверхнею ковзання.

При прояві негативних чинників може статися руйнація укосу (у разі говорять, що укис чи схил втратив стійкість) і як наслідок – руйнація розташованих у схилі чи поблизу нього будинків і споруд.

Одним із ключових питань у дослідженні зсувів є складність зсувного процесу та велика різноманітність механізму їх утворення та розвитку. Однак багато дослідників вкладають різний сенс у поняття механізму зсувного процесу.

Мабуть, поясненням це інженерно-геологічних умов, у яких спостерігаються прояви зсувів.

Механізм зсувного процесу включає механізм формування зсуву (стадія підготовки по Є.П. Омелянової або фаза глибинної повзучості за Г.І. Тер-Степаняном) під впливом гравітаційних об'ємних сил, сейсмічних сил, фільтраційного тиску, техногенного навантаження та ін., а також розвиток зсув після відділення зсувного тіла під впливом природних і техногенних факторів. Г.І. Тер-Степанян підкреслює, що найважливішими елементами механізму є напруження, деформації та час. Проте, з огляду на те, що напружений стан схилів важко піддається реальній оцінці, Г.І. Тер-Степанян рекомендує основою механізму покласти вивчення кінематики процесу, тобто. рух окремих елементів, що становлять зсув.

Використання тільки механізму зсуву з окремими елементами механізму формування не дозволяє повною мірою охарактеризувати механізм зсувного процесу при класифікуванні зсувів.

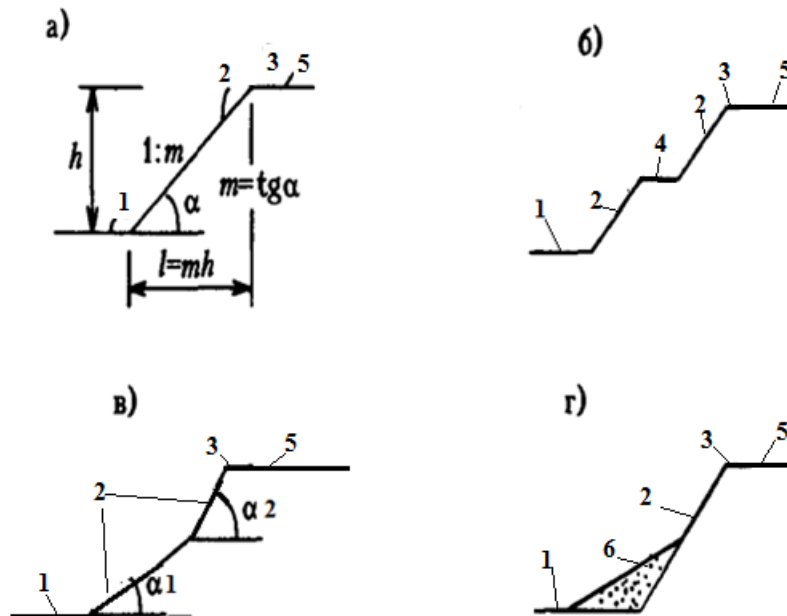


Рисунок 1.2 - Різні види та частини укосів:

а - основні розміри укосу (схилу); б, в, г - укоси з різним ухилом

1 - підніжжя укосу; 2 – поверхня ковзання укосу; 3 – брівка укосу; 4 – берма укосу; 5 – гребінь укосу; 6 - осип

### Сучасна класифікація зсувів

Далее остановимся на принятой в настоящее время классификации оползней.

**1. За потужністю зсувного процесу, тобто по залученню до руху мас гірських порід, зсуви поділяють на:**

- малі - до 10 тыс. м<sup>3</sup>; рис 1.3-а;
- середні - 10-100 тыс. м<sup>3</sup>, рис 1.3-б;
- великі -100-1000 тыс. м<sup>3</sup>, рис 1.3-в;
- дуже великі - свыше 1000 тыс. м<sup>3</sup>, рис 1.3-г.

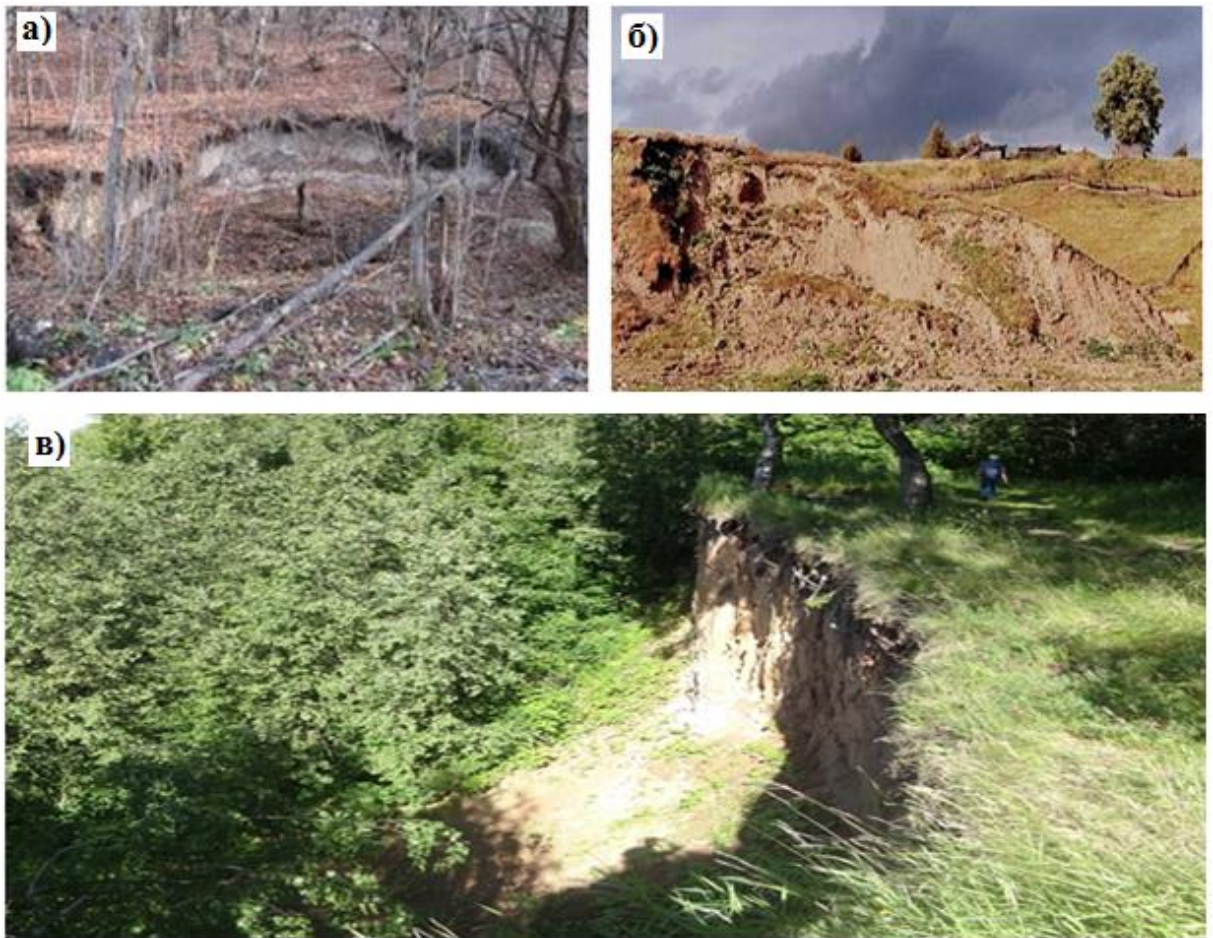


Рисунок 1.3 - Види зсувів:

а) – дуже пологі; б) – пологі; в) – круті

**2. По крутості поверхні ковзання чи усунення (поверхня ковзання – це поверхню, якою відбувається відрив і переміщення зсуву) розрізняють:**

- дуже пологі (кут закладання трохи більше п'яти градусів; зазвичай такі зсуви виникають під водою);

- пологі (кут закладання поверхні ковзання коливається від п'яти до п'ятнадцяти градусів);

- круті (кут закладання поверхні ковзання коливається від п'ятнадцяти до сорока п'яти градусів);

**3. По глибині залягання поверхні ковзання зсуву розрізняють:**

- поверхневі (лінія ковзання залягає не глибше 1 м); ці зсуви також називають оплавинами та сплавами;

-Дрібні (лінія ковзання залягає на інтервалі глибин від одного до п'яти метрів);

-Глибокі (лінія ковзання залягає на інтервалі глибин від п'яти до двадцяти метрів);

-Дуже глибокі (лінія ковзання залягає на глибині більше двадцяти метрів).

**По положенню поверхні ковзання та складання зсувного тіла зсуви поділяють на:**

1. Асеквентні (рис. 1.4-I) або секветні (рис. 1.4- II) зсуви.

Ці зсуви виникають в однорідних неслоистих товщах порід, а положення криволінійної поверхні ковзання залежить від кута внутрішнього тертя та усунення ґрунтових мас.

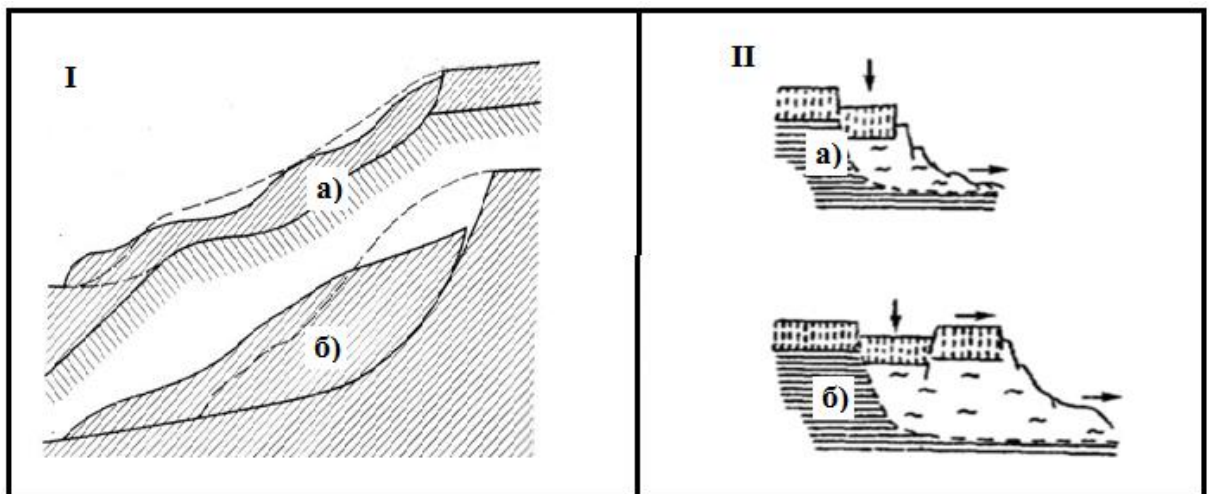


Рисунок 1.4 - Види зсувів:

I – Асеквентні; II – Секветні

2. Консеквентні (зсувні) зсуви. Такі зсуви відбуваються при неоднорідному додаванні схилу, причому зсув сповзаючих мас відбувається по поверхні розділу шарів або тріщини;



Рисунок 1.5 - Консеквентний зсув (схема)

3. Інсеквентні зсуви виникають також при неоднорідному складанні схилу, але в цьому випадку поверхня зміщення перетинає шари різного складу, причому зсув врізається в горизонтальні або похилі шари.



Рисунок 1.6 - Інсеквентні зсуви

За характером порушення рівноваги ґрунтового масиву, особливостям деформування, які значною мірою визначаються переважним силовим впливом та механізмом деформування, зсуви можна поділити на чотири основні типи.

Перший тип - блокові відносно глибокі зсуви стиснення (за іншими класифікаціями - зсуви видавлювання, роздавлювання, осідання, випирання).

Порушення рівноваги масиву та деформування при формуванні зсуву відбуваються за схемою стиснення.

Під вертикальним тиском, що стискає, від ваги покриваючих пластів деформується (роздавлюється) горизонт, структурна міцність  $\square$  з ґрунтів якого менша за вказаний побутовий тиск.

Внаслідок деформування ґрунтів горизонту, що раздавлюється, у бік схилу відбуваються просідання і прогин вищележачого масиву з формуванням в зоні вигину спочатку концентрації розтягуючих напруг, а потім - тріщини заколу (опущеної тріщини розтягування).

Далі по цій тріщині відокремлюється і осідає по крутій криволінійній поверхні ковзання зсувний блок.

Поверхня ковзання до схилу викладається і може бути близькою до горизонтальної.

Найбільшого поширення мають блокові зсуви стискування, поверхні ковзання яких формуються у глинистих ґрунтах. ( рис. 1.7. а,б).

Оползні данного типу поражають берега рек, морей, озёр, образуються на откосах виємков, насыпей, на бортах карьеров.

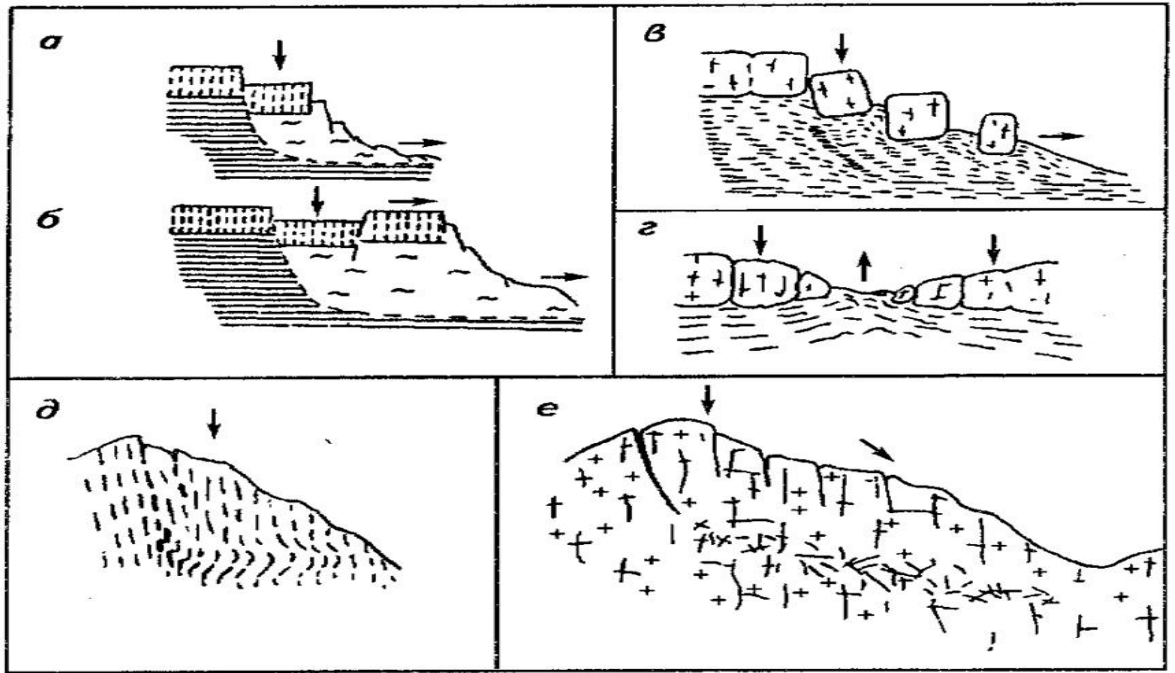


Рисунок 1.7 - Схеми зсувних деформацій за механізмом стиснення  
 а, б – зсув стиску в глинистих ґрунтах; в – осідання та розповзання  
 блоків напівскельних та скельних порід; г – випор дна долини; д –  
 гравітаційні складки: глибинна повзучість із S-подібним вигином пластів; е –  
 гравітаційні деформації хребтів.

Зсуви даного типу в напівскельних і скельних ґрунтах менш відомі. Вони зустрічаються в гірських та передгірських регіонах. Для них характерний повільний розвиток деформації у стадію підготовки зміщення, тривалістю до кількох сотень років ( рис. 1.7 в-е).

Другий тип - зсуви зсуву (за іншими класифікаціями - зсуви ковзання, зрізання, зісковзування, покривні). У дограничному стані відбувається:

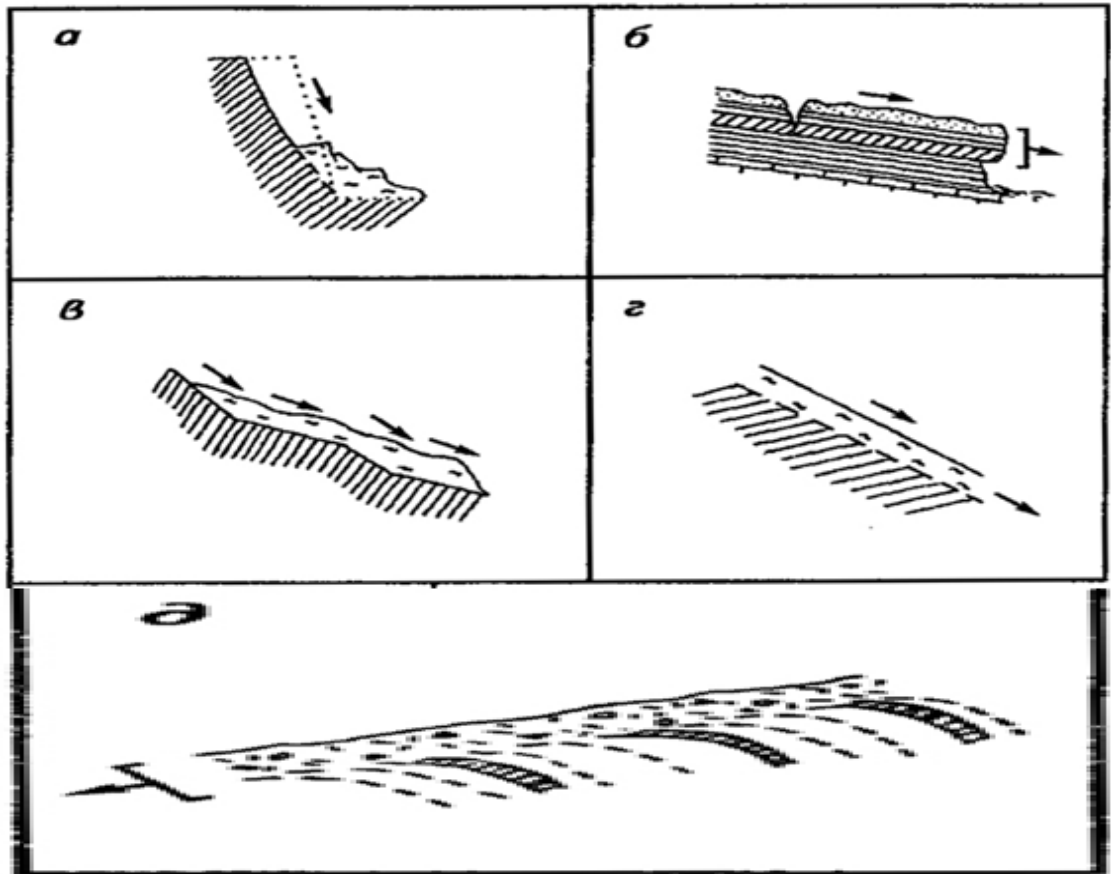


Рисунок 1.8 - Схеми зсувних деформацій за механізмом зсуву  
 а – зсув-зрізання; б – зрушення з напластування; в – зсув-ковзання  
 покривних мас; г – зсув (сплив) ґрунтового (ґрунтово-рослинного) шару; д –  
 вигин голів крутопадаючих пластів.

- концентрація у відповідних зонах ґрунтового масиву дотичних зсувних напруг: підготовка зсувів ґрунту на крутих ділянках схилу при формуванні кута природного укосу;

- повзучість вивітрілих приповерхневих схилових відкладень (покривні зсуви) з переміщенням за схемою нескінченного укосу;

- зрушення за зумовленою геологічним будовою зоні ослаблення (по контакту з покрівлею міцніших порід, по площині напластування).

Деформування схилу (укосу) відбувається у вигляді прогресуючого зсуву з падінням опору в міру деформування, зниженням

міцності від пікового значення до залишкового та поступовим формуванням поверхні (площини) ковзання.

На крутих уступах зсув (ковзання) частини масиву, що обповзає, відбувається, як правило, по криволінійній поверхні ковзання, що виходить до підосви уступу або вище її ( рис. 1.8а).

Таким чином, формується профіль рівноміцного або рівностійкого укосу зі зміщенням (нерідко обваленням) зміцнених ґрунтів. Поверхня ковзання може бути присвячена похилим геологічним межам між шарами.

При цьому можуть зрушуватись значні пачки гірських порід ( рис. 1.8б). Схема зсуву по ламаним плоским поверхням ковзання характерна для зсуву делювіально-елювіальних схилових накопичень по похилій покрівлі корінних порід ( рис. 1.8в).

Частою формою зсувних проявів є зсув (сплив) ґрунтово-рослинного покриву ( рис. 1.8г), що виявляється по серії щодо коротких зсувних тріщин.

Повільна повзучість шару приповерхневого у вигляді зсуву може спостерігатися на відносно стійких схилах з крутим падінням пластів міцних порід ( рис. 1.8д).

Третій тип - зсуви розрідження (за іншими класифікаціями - зсуви течії, спливи, оплівини, пластичні, в'язко-пластичні). Порушення рівноваги схилових масивів у вигляді розрідження відбувається внаслідок переважаючої силової дії підземних (ґрунтових) вод.

Основний механізм розрідження, що розглядається в механіці ґрунтів як фільтраційне деформування ґрунту, - це збільшення порового тиску (тиску води в порах ґрунту) і, як наслідок, зменшення ефективних напруг.

У водонасиченому ґрунтовому масиві порова вода тією чи іншою мірою може чинити на мінеральний скелет ґрунту гідростатичне зважування та фільтраційний тиск різної спрямованості, що викликаються фільтраційними об'ємними силами.

Інтенсивність та спрямованість цих сил залежать від зовнішніх впливів: статичного та динамічного навантажень на схил, швидкості фільтраційних

потоків та коливання рівня підземних вод, рівняного режиму у водоймах та поверхневих водотоках, інтенсивності атмосферних опадів тощо.

Даний механізм формування зсувів особливо характерний для дисперсних ґрунтів, що мають слабкий структурний скелет і малу фільтраційну здатність.

До них відносяться сучасні мули, водонасичені молоді глини та суглинки, пливуні, ґрунти, торфи, а також глинисті ґрунти різного віку, що втратили міцність внаслідок розуцільнення, вивітрювання та гідратації.

З дією механізму розрідження пов'язане опливання укосів малозв'язного ґрунту при обводненні у зв'язку із зміною кута укосу від  $\alpha = \varphi$  до  $\alpha = \varphi/2$  (де  $\varphi$  - кут внутрішнього тертя необводненого ґрунту). У місці виходу (розвантаження) на поверхню схилу підземних вод нерідко утворюється зсувний цирк із звуженою горловиною ( рис. 1.9а).

Розріджені ґрунтові маси (продукт обвалення стінки зриву та бортів) у вигляді в'язко-пластичного потоку переміщуються з горловини на укіс з утворенням конуса виносу біля підніжжя.

Підвищення рівня підземних вод, що виникає в результаті сильних злив, рясного танення снігу і відповідно висхідні фільтраційні сили можуть знизити внутрішнє тертя в ґрунті до нуля, а розуцільнення при малих навантаженнях (поверхневі шари) – призвести до втрати зв'язності між мінеральними частинками.

Розрідження піщано-глинистого ґрунту в такому випадку може статися навіть при невеликих ухилах поверхні (1:10 и менше) ( рис. 1.9б).

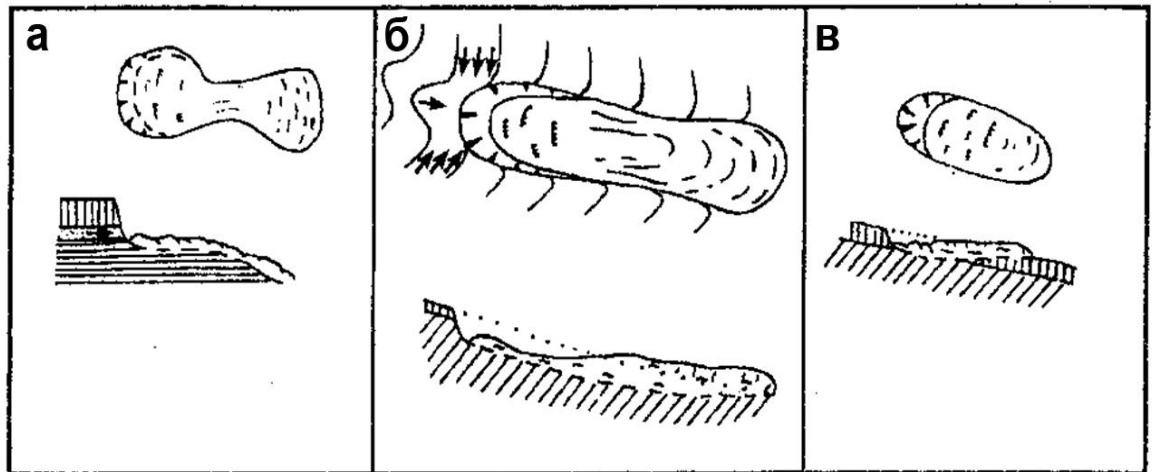


Рисунок 1.9 - Схеми зсувних деформацій за механізмом розрідження  
 а – зсувний цирк з вузькою горловиною (розвантаження підземних вод); б – зсув-потік; в – оплівина.

Четвертий тип - зсуви розтягування з відривом частини масиву порід (інші назви: зсуви-обвали, обвалення, складний зсув).

Порушення рівноваги і переважне руйнування відбувається під дією нормальних напружень, що розтягують, з поділом масиву по поверхні розриву.

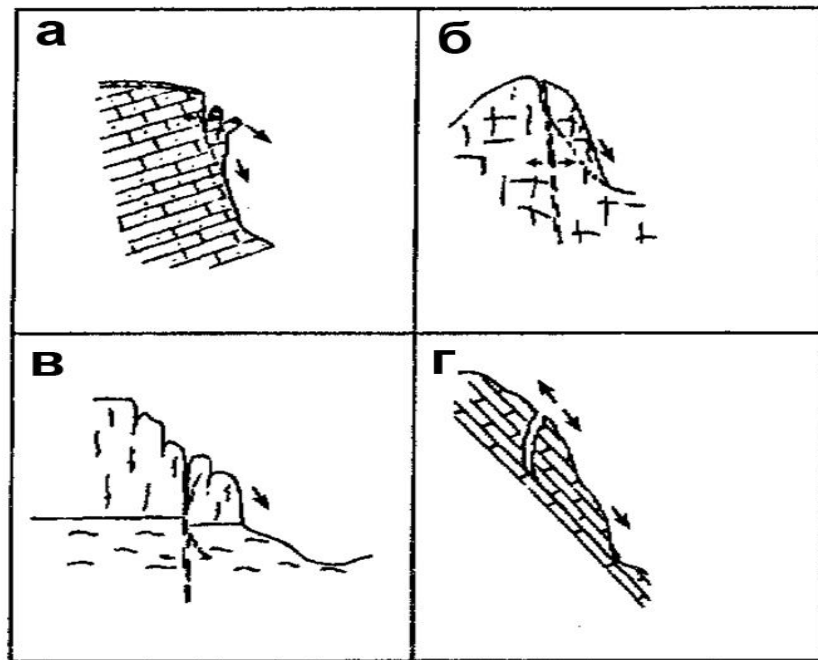


Рисунок 1.10 - Схеми зсувних деформацій за механізмом розтягування з відривом частини масиву порід

а – відрив та ковзання з обваленням блоків скельних порід; б – розрив по тектонічній тріщині і ковзання по поверхні, що формується в гірському масиві; в – відділення масиву з розривного порушення та просідання блоку порід з деформуванням глинистої товщі; г – відрив за місцем концентрації напружень, що розтягують, і зсув по крутій поверхні напластування.

Монолітні скельні породи можуть сприймати значну напругу, що розтягує (до 30 МПа), свідченням чого є високі вертикальні укоси бортів багатьох гірських долин.

При перевищенні напругами, що розтягують, межі міцності ґрунту невірноважені блоки порід відокремлюються від решти масиву, сповзають, обрушуються. (рис. 1.10а).

Відділення масиву може відбуватися по розривних сеймотектонічних тріщин з наступним переміщенням по поверхні зсуву (рис. 1.10б) або просіданням масиву, що відокремився, з деформуванням підстилаючої товщі глинистих порід (рис. 1.10в).

Наявність крутої підготовленої поверхні зсуву також сприяє утворенню тріщин розриву в зоні концентрації напруг, що розтягують ( рис. 1.10г).

Часто зустрічаються порушення локальної стійкості ділянки схилу в місцях надмірного зволоження ґрунтів та деформування у вигляді оплівин. (рис. 1.10в).

## 2 ЗСУВНІ ПРОЦЕСИ, ЇХ ПРОГНОЗУВАННЯ І БОРОТЬБА З НИМИ

Дослідження зсувних процесів є актуальною темою як при будівництві нових об'єктів, так і при експлуатації вже зведених. Систематичне спостереження за зсувами дозволяє запобігти руйнації укосів (як природних, так і штучних), схилів, не допустити загрози аварійних ситуацій у будівлях і спорудах, а значить уникнути людські жертви.

Актуальність теми для міста Барнаула обумовлена наявністю безлічі територій, схильних до зсувних процесів.

Оцінка стійкості природних скло-нов і штучних укосів є одним з головних завдань інженерно-геологічних вишукувань практично для всіх видів будівництва. Мабуть, жодна галузь інженерної діяльності не залежить так тісно від стійкості схилів і укосів штучних виїмок як будівництво автомобільних і залізниць.

Зсуви часто утворюються внаслідок підрізування схилів дорожніми виїмками. Мало хто знає, що на місці сучасного Іркутського водосховища, лівим схилом долини Ангари, раніше проходила залізниця, що з'єднає Іркутськ зі ст. Байкал. На 53 км цієї дороги біля ст. Подорвіха влітку 1948 р. стався зсув. Дорога тут проходила в напіввиїмці-напівнасипу з укосом висотою 15-20 м. Корінний схил мав висоту 250-300 м і крутість 20-30°, по ньому спускалися балки стоку, підрізані укосом. Укіс напівнасипу спускався безпосередньо до річки. Після декількох днів дощу, що моросся, по тальвегу однієї з лож-бін раптово сповзли делювіальні супес-чано-суглинисті відкладення у вигляді язика довжиною до 120 м і шириною від 2 до 8 м. Потужність делювію склала 1-1,5 м. Загальний обсяг зсув становив понад 800 м<sup>3</sup>. Верх-ня будова полотна (баласна призма, шпали, рейки) було знесено до корінних порід.

Причинами утворення зсуву стали нестійкий стан підрізаних дорожніми виїмками делювіальних супутників і суглинків, сильно зволжених дощами, значна крутість схилу і, можливо, мікросейсмічні коливання викликані рухом

поїздів. Обстеження схилу показало, що тут були численні сліди соліфлюкційних підвіжок малопотужних четвертинних відкладень. Дерновий покрив на багатьох ділянках був розірваний відкритими зяючими тріщинами, видно ступінчастість, бугристість, напливи та інші характерні мікроформи рельєфу [3].

Як відомо, зсувом називається ковзне зміщення гірських порід, що складають схил, внаслідок механічного руйнування або перебіг порід схилу і його основи без втрати контакту між зміщеною і нерухомою частиною масиву.

У будові зсувів розрізняються такі основні елементи: стінка відриву зсуву, поверхня ковзання, підошва зсуву, або базис, зсувний цирк, зсувне тіло і зсувні накопичення.

Стінка відриву являє собою поверхню, по якій зсув відділився від масиву порід. Поверхнею ковзання називається площина, якою відбувається зміщення блоку порід. У однорідних глинистих породах крива ковзання (в розрізі) має обриси циклоїди, яку для простоти приймають за частину кола. При ковзанні масиву по поверхнях напластування, тектонічним або іншим тріщинам поверхня ковзання може мати форму прямої, ламаної або хвилястої лінії.

У не глибоких зсувів, що захоплюють ґрунтовий шар, поверхня ковзання зазвичай слідує за рельєфом. Дуже часто зміщення відбувається не по чітко вираженій поверхні а захоплює деяку зону масиву (зону зміщення) або носить характер пластичних деформацій. У зоні ковзання породи мають порушену структуру і підвищену вологість. Підшовою, або базисом, зсуву називається лінія перетину поверхні ковзання з поверхнею схилу. На тому самому схилі може бути кілька зсувів, підшви яких розташовуються на різних рівнях. Такі зсуви називаються багатоярусними. Іноді зміщення земляних мас відбувається послідовно, і утворюється ступінчастий оползень. Поверхня зсувних уступів при русі часто набуває нахил у бік схилу, що пояснюється викладенням кривої ковзання. Зсувним тілом називається масив зсувних порід. У ньому виділяють голову - саму верхню частину зсуву і язик - саму нижню частину. Глибиною зсуву, або захоплення, схилу називається потужність зсувних мас, виміряна за

нормами до поверхні схилу. Під зсувним цирком розуміють виїмку, що утворилася на схилі в результаті зсуву, а дугоподібна лінія, якої, зсувний цирк обмежується з боку схилу, називається брівкою, або лінією зриву.

Зовнішній вигляд зсувних схилів має ряд ознак, якими завжди можна встановити, що схили перебувають у нестійкому стані. Там, де відбувається відрив маси порід, утворюється серія концентричних тріщин, орієнтованих уздовж схилів. Сповзання порід призводить до бугристості схилів, особливо в нижній частині. За рахунок тиску порід, що сповзають, у підшви схилів формуються вали видавлювання. Між валами і пагорбами при певних умовах накопичуються поверхневі та підземні води. Це викликає заболоченість схилів. При активному сповзанні на схилах добре видно зміщені земляні маси та терасоподібні уступи. Дуже часто зовнішньою ознакою зсувів є так званий «п'яний ліс» і розірвані стовбури дерев. За рахунок сповзання порід стовбури дерев втрачають свою вертикальність, а іноді навіть розщеплюються. Аналогічним чином втрачають вертикальність стовпи телефонного зв'язку та електроліній, паркани, стіни. На зсувних скло-нах можна спостерігати зруйновані будинки або будівлі її значними тріщинами. Характерною рисою цих тріщин є найбільше розкриття в нижній частині будівлі по схилу.

Для виникнення та розвитку зсувів необхідні деякі певні умови. Серед них найбільше значення для схилів мають: висота, крутість і форма, геологічне будова, властивості порід, гідрогеологічні умови.

За всіх рівних умов круті схили більш схильні до зсувів, ніж пологі. Так, встановлено, що схили з крутістю менше  $15^\circ$  зсувів не утворюють. Зсуви властиві схилам опуклої і нависаючої конфігурації.

Великий вплив на розвиток зсувних процесів надає геологічну будову та літологічний склад порід схилу. Найбільш часто зсуви виявляються при заляганні шарів з падінням бік схилу, наприклад, зсуви Чорноморського узбережжя (Сочі). Типовими зсувними по-родами слід вважати різні глинисті утворення, для яких характерна властивість «повзучості». Такий процес,

наприклад відбувається на схилах лесових товщ. Переважна більшість зсувів приурочено до виходів підземних вод.

Причини утворення зсувів можна звести до трьох груп:

- 1) зміна форми та висоти схилу;
- 2) зміна будови, стану та властивостей порід, що складають схил;
- 3) додаткова вантаж на схил.

До першої групи причин відносяться підмив схилу внаслідок коливань базису ерозії, руйнівна робота хвиль і текучих вод, а також підрізання схилу. У другу групу зведені процеси, що змінюють будову порід та погіршують їх фізико-механічні властивості. До них відносяться вивітрювання і зволоження порід дощовими, талими і підземними водами, роздроблення окремих блоків, при зміщенні, вилуговування розчинних солей і винесення дрібних частинок водами, що фільтруються (суфозія). До третьої групи причин відносяться гідродинамічний і гідростатичний тиск, штучні статичні і динамічні навантаження на схил, а також сейсмічне вплив.

Найчастіше рух земляних мас на схилах відбувається внаслідок поєднання ряду причин. Залежно від конкретних умов та причин руху порід на схилах мають різну динаміку та різні форми прояви: вони можуть бути поверхневими чи глибокими. До поверхневих відносяться усунення дернового покриву та малопотужного делювію; серед них розрізняє: спливи, оп-ливини та осови. Всі вони утворюються в результаті насичення і розрідження порід водою, діють зазвичай періодично і мають малу швидкість руху.

Глибокі зміщення, або власне зсуви, захоплюють схил на глибину, інколи вимірюється десятками метрів. Динаміка зсувного процесу в даному випадку залежить не тільки від причин розвитку зсувів, але і від геологічної будови схилу (склад порід, умов їх залягання, шаруватості і т.д.).

Класифікація зсувів передбачає виділення власне зсувів, а також їх різновидів у вигляді спливів (або спливин) і зсувів - обвалів. Власне зсуви відбуваються тільки шляхом ковзання земляних мас по схилу. Площина ковзання зазвичай розташовується на значних глибинах (багато метрів).

Спливи - усунення земляних мас на невеликій площі (сотні квадратних метрів) внаслідок водонасичення верхніх шарів. Глибина залягання площини ковзання до 1 м. Характерні для весняного періоду годя. Зсуви-обвали є зміщення земляних мас одночасно за типом ковзання і обвалу. Типові для крутих схилів.

Ф. П. Саваренський виділив такі типові випадки, що враховують вплив гео-логічної будови на морфологію і динаміку зсувів: а) зсуви в неслоистих породах (асеквентні); б) зсуви по шарах або тріщинах, нахиленим у бік схилу (консеквентні); в) зсуви, при яких поверхня ковзання січе шари або породи різного складу (інсеквентні). Асеквентні зсуви часто утворюються внаслідок зміни консистенції глинистих порід. Рух зсуву починається знизу, зсувне тіло зісковзує цілком, і утворюється закинутий у бік схилу майданчик - зсувний уступ. Консеквентні зсуви можуть починатися як знизу, і зверху. В останньому випадку відбувається зминання і дроблення нижчележачих частин схилу з утворенням пагорбів. Іноді зісковзування порід по поверхнях, визначених геологічним будовою схилу, відбувається швидко і супроводжується обвалами і дробленням порід. Інсеквентні зсуви зазвичай виникають в результаті зміни консистенції порід і гідродинамічного тиску, а також внаслідок розвитку суффозії. Зсувне тіло може пересуватися з різними швидкостями як у плані, так і по глибині, в результаті чого утворюється дуже складна система тріщин.

Існуючі, уявлення про механізм зсувоутворення дозволяє розділити все різноманіття, зсувів на дві групи за ступенем збереження структури порід, що зміщуються, що визначає їх стан і властивості. До групи I відносяться зсуви, приурочені до корінних порід, що відрізняються відносною безпекою первісної структури зміщуються порід у масиві і різким зміненому стані та властивостей у зонах руйнівних деформацій (зонах зміщення). Зсуви, що входять до групи II, характеризуються значною або повною зміною структури, стану і властивостей усієї або майже всієї маси порід, що зміщуються. Найчастіше такі зсуви розвиваються в поверхневих освітах.

У межах обох груп зсуви розрізняються за розмірами глибині захоплення, віку і фаз розвитку.

У межах обох груп зсуви розрізняються за розмірами глибини захоплення, віку і фаз розвитку.

Дуже важливим моментом при проектуванні насипів і виїмок, наприклад при будівництві залізниць і автомобільних доріг, є прогнозування стійкості схилів і укосів. Стійкість схилів і укосів може бути оцінена методом аналогій, а при необхідності виконуються відповідні розрахунки і моделювання. Метод інженерно-геологічних аналогій заснований на використанні даних спостережень за стійкістю укосів і схилів такої ж крутості, складених подібними породами. За даними цих спостережень підбираються аналогі ділянки, що вивчається. Застосовувати цей метод можна тільки при впевненості, що порівнювані інженерно-геологічні умови еталонного і досліджуваного ділянок аналогічні.

Враховуючи, що в кожному регіоні ґрунти мають свої генетичні особливості, краще при прогнозуванні застосовувати механіко-математичні розрахунки стійкості схилів і штучних укосів у нескельних породах діляться на дві групи:

- 1) перевірочні розрахунки, існуючого схилу або укосу;
- 2) побудова профілю стійкого відкосу.

Способи першої групи - спосіб кола тертя, горизонтальних сил та ін.

Базуються на підборі найбільш небезпечної поверхні ковзання. Для цього заздалегідь задаються кути укосу (за аналогією з іншими природними або штучними укосами або за нормативними даними), а про стійкість оцінюваного укосу судять за значенням коефіцієнта безпеки.

До другої групи належать запропоновані Н.Н. Масловим, В.В. Соколовським, М.М. Троїцької та інші способи, засновані на побудові профілю укосу, що перебуває у стані граничної рівноваги. У результаті такої побудови даються рекомендації про надання укосу такого профілю, який забезпечує необхідний ступінь стійкості. Для побудови профілю застосовують формули механіки ґрунтів, в яких використовуються певні лабораторним шляхом показники фізико-механічних властивостей ґрунтів, що складають

укіс. Слід зазначити, що більшість розрахунків ґрунтується на припущеннях, і тому результати обчислень для одного і того ж схилу, отримані різними способами, не завжди збігаються.

В особливо складних випадках, коли будова масиву гірських порід не піддається схематизації, необхідної для застосування математичних розрахунків, використовуються змішані методи - експериментально-розрахункові, що базуються на попередньому виявленні напружено-деформованого стану схилу на моделі або розрахунковим шляхом (методом кінцевих елементів та ін.) і на подальшому зіставленні величин напружень з показниками міцності порід у досліджуваному масиві. Крім того, застосовуються експериментальні методи, наприклад моделювання з еквівалентних матеріалів, що дає можливість виявити зростання напруги в масиві порід і розвиток зсувних деформацій у часі, що повинно враховуватися при складанні розрахункових схем.

Одним з обов'язкових етапів складання прогнозу зсувних зсувів на схилах або укосах є створення інженерно-геологічної моделі зсувного схилу (укосу). В даному випадку під моделлю розуміється генералізоване графічне зображення (інженерно-геологічний розріз, великомасштабна карта) зсувної ділянки, побудоване з урахуванням даних, отриманих за допомогою методу прогнозування (розрахунку). Іншими словами, на моделі повинні бути відображені всі відомості, необхідні для прогнозу (Розрахунки).

Питанням прогнозування зсувів присвячено дуже багато робіт, і немає можливості навіть коротко викласти методикку і способи прогнозів гравітаційних деформацій схилів, і укосів. Нам представляється необхідним, у межах аналізованої статті, зупинитися лише у двох аспектах цієї дуже складної проблеми: а) прогнози на стадії повторних зсувів («пожвавлення» древніх зсувів внаслідок техногенного впливу); б) прогнози зсувів у скельних породах (в бортах котлованів, кар'єрів та постійних виїмок).

Повторні усунення («оживлення») зсувних схилів дуже різноманітні. Вони можуть бути наслідком зміщення всього тіла зсуву або його окремих

частин, утворення зсувів другого порядку і т. д. Нерідко окремі частини зсуву рухаються в різний час, в різній послідовності і в різні фази зсувного процесу. Швидкість усунення майже завжди непостійна: зазвичай окремі переміщення перериваються більш менш тривалими зупинками. Прогноз можливості повторного зміщення всього зсуву може виконуватися методами розрахунку коефіцієнта стійкості по поверхні ковзання і врахування балансу земляних мас (для зсувів обертання і видавлювання).

При складанні прогнозу швидкості і амплітуди зміщення при повторних зрушеннях або постійному русі зсуву використовуються дві групи методів, що базуються на протилежних підходах до оцінки можливості руху зсуву. Методи, засновані на уявленні про зсув як стаціонарному процесі (постійний рух або повторення зсувів), застосовуються в наступних моделях:

- 1) в'язкопластичні течії ґрунтів, що встановився, по схилу або укосу для нескінченного шару постійної потужності;
- 2) зв'язку величини переміщень з водо-насиченням тіла зсуву (з атмосферними опадами, підйомом рівня підземних вод, вологістю ґрунтів, уявленням про наявність «критичної вологості» і т.д.).

Методи, що базуються на уявленні про саморегуляцію величини переміщень у зв'язку з вже відбулися зрушеннями і зміною напруженого стану в результаті їх застосовуються в наступних моделях:

- 1) невстановився в'язкопластичного руху, загасаючого під впливом перебудови схилу у процесі зміщення;
- 2) динамічної рівноваги між переміщеннями і балансом мас (при увігнутій поверхні ковзання).

Оцінка стійкості скельних укосів у котлованах, кар'єрах та постійних виїмках здійснюється у кілька етапів:

- 1) розрахунок напружено-деформованого стану масиву і виявлення потенційних поверхонь обвалення;
- 2) аналіз стійкості виділених скельних масивів за граничним станом;

3) аналіз стійкості і допустимих параметрів укосів за деформаціями, що спостерігаються в період проходки та експлуатації.

Оцінка стійкості скельних масивів має проводитися з урахуванням детального аналізу їх напруженого стану. Однак існує кілька міркувань, що обмежують широке використання даних про напружений стан масивів гірських порід, у тому числі такі:

1) для аналізу напружено-деформованого стану потрібна обширна інформація про деформативність і міцність скельних блоків і розділяють їх тріщин у складному напруженому стані, що враховує нелінійність характеристик деформативності, розсічення масиву тріщинами і змикання тріщин;

2) велике, котрий іноді визначальне значення у процесі формування поверхні зміщення в скельному масиві мають як величини початкових природних напруг, а й історія формування; різне поєднання цих факторів може дати різні результати, а їх ігнорування може призвести до помилкових оцінок стійкості скельних масивів;

3) використання цих методів ускладнюється обмеженістю можливостей обчислювальної техніки.

Найбільшого поширення в інженерній практиці для оцінки допустимого рівня навантажень або міцності отримав коефіцієнт запасу.

Однак використання цього параметра в механіці скельних порід не завжди зручне та коректне. Оцінювати запас міцності чи стійкості можна лише конкретної розрахункової схеми і з урахуванням певного впливу, що може вивести масив з рівноваги. Тому коефіцієнт запасу може використовуватися тільки для зіставлення різних рішень, одержуваних для одного скельного масиву.

Більш зручно визначення безпосередньо величини запасу стійкості (або міцності) або зворотної йому за знаком величини дефіциту стійкості (або міцності).

Прогнозування зміни зсувних процесів здійснюється на основі методу порівняльно-геологічного аналізу розвитку процесів. Даний метод заснована на безпосередньому контролі за можливо змінюваними параметрами, такими як величини вертикальних переміщень геодезичних реперів в межах геодезичних створів, рівень підземних вод у спостережних свердловинах, виміри по тимчасових марках і т.п. За допомогою цього методу складаються локальні прогнози на найближчі 5-10 років, чого цілком достатньо для прийняття конструктивних рішень з урахуванням цих прогнозів при господарюванні. Тахеометрическая знімання зсувних цирк і бровки берегового схилу останні 3 роки не проводилася. При прогнозуванні за основу були покладені результати чергових зсувних зйомок і виміри, проведені за часовими марками, а також дані щодо зміни рівня підземних вод.

Боротьба з зсувами у багатьох випадках виявляється надзвичайно складною, дорогою і часто неефективною. Для успішного застосування протизсувних заходів необхідно високоякісне виконання інженерно-геологічних досліджень для оцінки фактичного ступеня стійкості схилу.

Для успішної реалізації протизсувних заходів необхідна розробка питань спеціальної стратегії і тактики. До перших відносять: встановлення природи можливих форм порушення стійкості схилу і розробка раціональних розрахункових схем; кількісна оцінка (іноді з деяким наближенням) ступеня стійкості схилу (визначення коефіцієнта стійкості - запасу); виявлення найбільш ефективних шляхів підвищення ступеня стійкості схилу необхідних предеолів; проектування укосів з наперед заданим ступенем стійкості. Другі полягають, в першу чергу, у виборі в межах готівкової стратегії найбільш ефективних для конкретного випадку протизсувних заходів і споруд, не забуваючи при цьому про переваги «превентивних» профілактичних методів.

Протизсувні заходи поділяються на два види:

активні, здатні впливати на основну причину зсуву шляхом повного припинення або деякого послаблення її дії, зокрема, зняття перенапруги ґрунтової товщі за рахунок розвантаження будь-якого виду; пасивні,

спрямовані на підвищення значущості факторів опору, що впливають позитивним чином на ступінь стійкості, наприклад, привантаження, закріплення будь-якими способами. Заходи щодо забезпечення охоронної

обстановки стосуються в основному обмежень у діяльності людини в районі схилу: по зеленому поясу (заборона рубки лісу, корчування та розробки ділянок під городи, знищення чагарника, трав'яного покриву); з будівництва (встановлення межі граничної забудови, типу та ваги споруд, знесення існуючих споруд, уповільнення темпів будівництва); по земляних роботах (заборона будь-яких розробок ґрунту в пасивній зоні - біля підніжжя, завантаження схилу в активній зоні - біля брівки, збільшення крутості укосу, розтин нестійких ґрунтів); в області водного господарства (заборона спуску поверхневих вод і поливів, утримання в порядку водовідвідних і осушувальних пристроїв, водопровідно-каналізаційних систем, закладення ям, тріщин, встановлення рівнів і темпів роботи вод, що омивають укіс); по динамічних впливів (заборона застосування вибухових робіт, забиття паль, роботи транспортних засобів).

*Берегозахисні заходи та споруди.*

ня на водотоках і водоймах біля підніжжя схилу повинні включати: відведення і виправлення русел, пристрій захисних покриттів, зведення лотків, швидкоплинів, перепадів, стін - набережних. Водовідвідні осушувальні та дренажні заходи та пристрої ділять на: роботи на поверхні - (планування місцевості, закладення тріщин, влаштування покриттів, дамб, обвалування, нагірних та осушувальних каналів, лотків, каптаж джерел); облаштування дренажів (поздовжні та перцеві прорізи та галереї, дренажні шахти, що поглинають свердловини та колодязі); виконання ізоляційних заходів (пристрій різних ін'єкційних завіс, глинізація, заморожування ґрунтів). Землевпорядні заходи спрямовані на: розвантажувальні роботи в активній зоні (повне знімання зсувних мас, зрізання активної частини зсуву, очищення скельних укосів, терасування та упорядкування схилу, загальне планування скло-на) та привантаження в пасивній зоні (відсипання та відвал ґрунту);

покриття скельних схилів металевими та геосинтетичними сітками; армування поверхні геосинтетичними матеріалами (сітками, комірчастими каркасами і т.п.); влаштування кам'яних пасток. Механічне кріплення схилу (укосу)

пов'язано з улаштуванням одиночних прошпилюючих елементів у вигляді паль різного типу, що проходять крізь зсув в корінні породи або рядів у вигляді шпунтових стінок, ін'єкційних і мерзлотних завіс та ін.

Підпірні споруди передбачається у

зводити у вигляді шпунтових стінок (металевих, залізобетонних, дерев'яних), підпірних стін (кам'яних, бтонних, залізобетонних), стін зі паль-оболонок великого діаметру, а також вигляді завязятих валів (поясів) з фунта, кам'яної накиди, масивів-гігантів. Покриття призначені для закріплення

поверхні схилу від впливу зливових і річкових вод. Їх виконують з піщаних, гравелистих, галькових фунтів, кам'яної начерки, кам'яного мощення, шлакоглінобетону, асфальту і асфальтобетону, бетону і залізобетону, геосинтетичних плівок з армованого високоміцного поліетилену. Для закріплення берегової зони часто використовують фашинні матраци. Використання рослинності спрямоване на закріплення та осушення схилу. Тут передбачається суцільне траво-сіяння, посадка вологолюбного чагарника, заліснення схилу (в'яз, дуб, клен, липа, листя-вінниця).

Штучне ущільнення та закріплення ґрунтів на схилі передбачає проведення різних ін'єкцій (цементация, силікатизация, бітумізация, глинізация), заморожування фунтів, ущільнення електроосмосом.

Забезпечення стійкості споруджуваних споруд у зоні дій зсуву має на меті підвищення безпеки і включає заходи: з видалення нестійкого масиву на всю його потужність (до корінних неоползнеопасних порід); закладання глибоких фундаментів, що спираються на стійкі породи; будову фундаментів з буронабивних паль; використання каркасних конструкцій; армування крутих укосів геосинтетичними сітками та каркасами; застосування залізобетонних поясів; будову деформаційних швів.

### **3 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗСУВНОЇ ДІЛЯНКИ КОЛІЇ**

На Одеській залізниці є нестабільний зсувний об'єкт. Лінія - одноколійна, колія ланкова, рейки Р65 довжиною 25 м, шпали залізобетонні з епюр 1840 шт. / км на прямих і 2000 шт. / км в кривих, баласт щебенекий. Зсув характеризується як великий і складний, що знаходиться в стані нестійкої рівноваги. Деформації відбуваються не тільки в періоди надмірного зволоження, а майже безперервно. Зсув перетинається залізничною лінією протягом 200-250 м. Прояв зсуву в умовах великого міста і повсякденна загроза безперервності руху обумовили велику і постійну увагу даній ділянці. Зсувний масив вже повністю відокремився і потребує вжиття невідкладних заходів для запобігання катастрофічним наслідкам.

#### *Загальна характеристика району*

##### *Клімат*

Клімат району посушливий з сухим жарким літом, теплою осінню, вологою зимою і зяжкою весною. Середня річна температура повітря дорівнює + 12°. Найбільш теплий місяць липень. Найбільш холодний - лютий. Морозний період нетривалий. Сніговий покрив рідко буває вище 10 см і тримається з кінця грудня до середини лютого. Річна кількість опадів коливається від 227 до 571 мм, в середньому 395 мм. Найбільша їх кількість випадає в осінньо-зимовий період. Відносна вологість повітря коливається від 68 до 79%. Найбільшу повторюваність мають північно-східні вітри. У теплу пору року збільшується кількість вітрів південного напрямку. Швидкості вітру 25-26 м / с спостерігаються в середньому 1 раз на рік. Максимальна швидкість зафіксована в січні 1951 року та склала 40 м / с.

##### *Геоморфологічні умови і рослинність*

У геоморфологічному відношенні ділянка розташована в межах лівого схилу балки з абсолютними відмітками від 0 до 70 м. Профіль схилу має характерний ступінчастий вид з неодноразовою зміною крутих і пологих ділянок. Виділяються наступні великі форми рельєфу:

- Верхня полого частина схилу з абсолютними відмітками від 70 до 55 м, зайнята багатоповерхової житлової забудовою;
- верхній уступ крутизною до 30° з абсолютними відмітками від 55 до 34-38 м задернована, іноді зустрічаються чагарники і дерева, місцями виявляються корінні вапняки;
- полого, штучно терасована частина з абсолютними відмітками від 34 до 27 м, зайнята індивідуальною забудовою по вулиці і городах;
- середній уступ з абсолютними відмітками від 29 до 20 м, крутизною схилу 45-60°, схил густо заріс чагарником;
- штучна тераса залізничного земляного полотна на відмітках 20-21 м;
- нижній уступ крутизною до 60° з відмітками від 20 до 6 м, покритий чагарником; в підставі нижнього уступу проходить автодорога і розташовані споруди військової частини.

#### *Геологічна будова, гідрологічні умови і тектоніка*

В геологічній будові ділянки беруть участь ґрунти четвертинного і кайнозойського (сорматській і тортонський ярусу) віку. В основі товщі нижче рівня моря залягають нуммлінітові вапняки тортонського ярусу. Вище лежить товща «нижніх вапняків» нижче сарматського віку, для яких характерна наявність лінз і тонких прошарків пілуватих пісків і рідше глин. Потужність цих відкладень досягає 32 м. Залягають вони майже горизонтально з незначним (до 1-2°) нахилом на ЗСЗ. Вище залягають «нижні глини» нижнього сармата. Безпосередньо над глинами лежить товща чергуються вапняків, пісків і глин, що відносяться до нижнього горизонту середнього сармата. Значного розвитку набули четвертинні відкладення: пролювіальних-делювіальні суглинки і, в меншій мірі, насипні ґрунти. Вони заповнюють штучні зниження в рельєфі. Найбільша потужність їх приурочена до верхній терасі, так уздовж вулиці, вона становить від 14,5 до 16,5 м. Гідрогеологічні умови ділянки обумовлені його геоморфологією, геологічною будовою та наявністю зсувних переміщень. Ґрунтові види розкриті майже всіма свердловинами на абсолютних позначках від 2 до 40 м, що свідчить про

відсутність витриманого водоносного горизонту в межах схилу. Найбільш обводненими виявилися борту зсуву. Ґрунтові води носять потоко - струминний характер, проходячи складний шлях, роз'єднані на окремі потоки, як сполучені між собою, так і ізольовані, розташовані на різних гіпсометричних рівнях. Водовмісткими породами є насипні ґрунти, суглинки, піски й вапняки. Водоупором служать витримані шари щільних глин і міцних вапняків. Основне живлення ґрунтові води отримують за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, поливних та господарських вод. Розвантаження здійснюється у вигляді розсіяних виходів вздовж залізничного щільна. З'явилися ці джерела після минулих зрушень схилу. Витрати джерел незначні і залежать від кількості опадів, що випадають. На території простежується серія дрібних тектонічних елементів і розривних порушень різних порядків і напрямків. В даний час дно моря відчуває занурення, а примикають гори - підняття. Такий характер вертикальних рухів земної кори передбачає велику крутизну приморських схилів, що сприяє широкому розвитку на них екзотонних геологічних, в тому числі зсувних процесів. Крім цього спостерігаються диференційовані рухи уздовж берегів. З сучасними рухами земної кори пов'язана висока сейсмічність узбережжя (7-8 балів). Згідно СНиП П-7-81 розрахункова сейсмічність району дорівнює 7 балам. Геологічна будова району визначило характер будови схилів. Початок зсувних процесів тут збігається з періодом формування балки. Швидкість вивітрювання оновити в схилах шарів глин значно вище швидкості вивітрювання вапняків і це призвело до утворення до утворення зсувів, що лежать вище вапняків по глинам. Розмив зсувних накопичень приводив до нових зсувів. При зниженні базису ерозії нижче подошви, глин зсувні накопичення і четвертинні відносини захищали глини від вивітрювання та інтенсивність зсувовиникнення знижувалася. У товщі четвертинних відкладень поруч свердловин зустрінуті змішані блоки глин. З факторів інженерно-господарської діяльності, що сприяють утворенню зсуву, необхідно відзначити підрізування схилу

залізничної напіввиїмки, динамічний вплив поїздів і обводнення схилу витоками технічних вод.

### *Характеристика зсувних процесів*

Залізниця в межах зсуву проходить в середній частині лівого схилу балки, що впадає в бухту, проти початку бухти. Схил являє собою древній зсув, базисна частина якого підрізала залізничної виїмкою. Однак ніяких протизсувних робіт, що компенсують підрізування схилу, проведено не було. Правда, на зсувах, розташованих на північний схід від цього району, були виявлені залишки дренажних труб і можливо якісь дренажні споруди були закладені під час будівництва, але, як правило, при підрізування нижньої частині зсувів дренажних споруд може не вистачити. Надзвичайно істотним чинником при зсувоутворення є ґрунтові води. Ґрунтові води зустрінуті багатьма виробками. Живлення відбувається за рахунок атмосферних опадів, витоків господарських вод та інфільтрації води при поливах присадибних ділянок. У багатьох свердловинах відзначені напірні води, що істотно впливає на розвиток зсувних процесів, зменшуючи вагу верхніх мас ґрунту. Розвантаження ґрунтових вод відбувається по всій площі нижньої частини схилу, в тому числі після відбулися зсувних переміщень з'явилися джерела уздовж залізниці. Зсувним переміщень сприяли інтенсивні атмосферні опади. У листопаді-грудні кількість опадів, що випали в 2-3 рази перевищило середнє багаторічне значення (графіки розподілу опадів наведені в інженерно-геологічному звіті). В результаті стався розрив каналізаційного колектора, а дещо пізніше лопнула засувка напірного водоводу. Ці перші зсувні зрушення погіршили становище на схилі, приводячи до значних витокам господарських вод. Почалися деформації житлових будинків, а пізніше був розірваний водопровід по вулиці, де і з'явилися перші тріщини. Головні зсувні зрушення сталися, коли були зруйновані житлові будинки непарного боку вулиці, деформовано залізничне щільно, опори контактної мережі, комунікації. Одна з бровок зриву сталася по городах, перетинаючи вулицю, розірвавши асфальтове покриття. Висота вертикальної стінки зриву 0,4-1,0 м. Бровка

зриву другого блоку відзначена в 13-20 м від попередньої. У зоні базису зсуву відзначено випинання ґрунту в районі кювету і земляного полотна, а також у кромки обриву і в обриві в північній частині нижньої тераси. З січня по серпень тривали незначні пластичні деформації, збільшувалися висоти стінок зриву, тривали деформації земляного полотна залізниці, каналізаційного колектора. Дані спостережень за реперами свідчать про те, що сумарна переміщення деяких реперів за цей період досягла 14,5-17,0 м. У липні-серпні опади випали приблизно в тій же кількості, що і в листопаді-грудні. І знову відновилася зсувна активність схилу. Відновилися зрушення залізничної колії, висота стінок зриву збільшилася на 60-70 м, досягнувши 1,5-2,0 м. Зміщення реперів склало від 20 до 106 см в севберо-східному напрямку. Таке, в основних рисах, що склалося в даний час становище на зсувній схилі.

#### *Аналіз зсувної діяльності*

У характеристиці зсувних процесів відзначено, що перші зрушення спостерігалися у верхній частині схилу на початку січня, і лише до середині січня відбулися катастрофічні зрушення нижньої частини схилу. Це дає право стверджувати, що першими зрушили перші блоки і зсув захопив значно більшу площу. По всій видимості зсувні зміщення відбулися в межах (або близько до них) стародавнього зсуву. Найбільші зсуви приурочені до кривих зсуву по поперечним розрізами 1-1, де кількість зсувних ґрунтів у верхній частині - найбільше.

Слід зазначити, що порушення стійкості відбуваються по кривим, захоплюючим весь схил, а не тільки найбільш активну, нижню частину, що зрушення схилу почалися в верхній частині. Активна ж зсувна зона почала рухатися лише через тиждень після верхньої частині. Все це дозволяє стверджувати, що в зсувних зсувах брали участь всі пухкі відкладення, складові древній зсув. У зв'язку з викладеним проєктовані протизсувні заходи повинні забезпечити стійкість як активної зони, так і всіх зсувних мас. Закінчуючи характеристику району і загальних міркувань про методику розрахунку стійкості, необхідно кілька зупинитися на обліку сейсмічності.

Відповідно до положень нормативної документації район зсуву має сейсмічність 7 балів. Несприятливі інженерно-геологічні умови вимагають прийняти сейсмічність майданчика будівництва вище на 1 бал, тобто 8 балів.

### 3.1 ВАРІАНТИ ПРОТИЗСУВНИХ ЗАХОДІВ

Розглянуті 4 варіанти протизсувних заходів:

1. Терасування схилу.
2. Пристрій анкерної конструкції.
3. Пристрій пальового протизсувного споруди.
4. Відсіпка контрбанкетів.

#### *Терасування схилу*

Терасування схилів в ряді випадків є найбільш ефективним протизсувним заходом, однак широке його застосування стримується необхідністю вилучення великих площ цінних земель, а іноді і необхідністю знесення житлових і виробничих будівель та різних комунікацій. Після минулого в січні зсуву було прийнято рішення ліквідувати житлові будівлі, сади і городи і винести комунікації за межі зсувної зони. У зв'язку з цим вирішили скористатися можливістю і найбільш перспективним вважати варіант зрізання схилу. Це рідкісне збіг сприятливих обставин забезпечувало істотну економію вартості будівництва. Передбачається дві тераси зрізання - нижня збільшує стійкість найбільш активної частини зсуву, а верхня - всього зсуву. Уздовж кожної тераси передбачені водовідвідні споруди для швидкого і організованого скидання води з зсуву. Поверхня зрізання покривається рослинним ґрунтом і сіють трави.

#### *Пристрій анкерної конструкції*

Доцільність розгляду анкерної конструкції полягає в тому, що в безпосередній близькості від поверхні ковзання залягають корінні породи - вапняки, які можуть бути використані для анкерування утримує конструкції. Зсувні накопичення - суглинки, що включають в своєму складі до 50% уламкового матеріалу також сприятливі для анкерної конструкції. Робота анкерної конструкції заснована на принципі притиснення зсувних мас ґрунту

до стійким ґрунтам, розташованим нижче поверхні зсуву і створення, тим самим наполегливо утримує пріама, яка сприймає розрахункове зсувний тиск. Анкерна конструкція складається з високоміцної анкерної тяги, зашпаровують нижньою частиною в вапняки, а верхньою частиною спирається на ребристу залізобетонну плиту, що укладається на спланований укіс, покритий щебеневою підготовкою. (Рис.3.1)

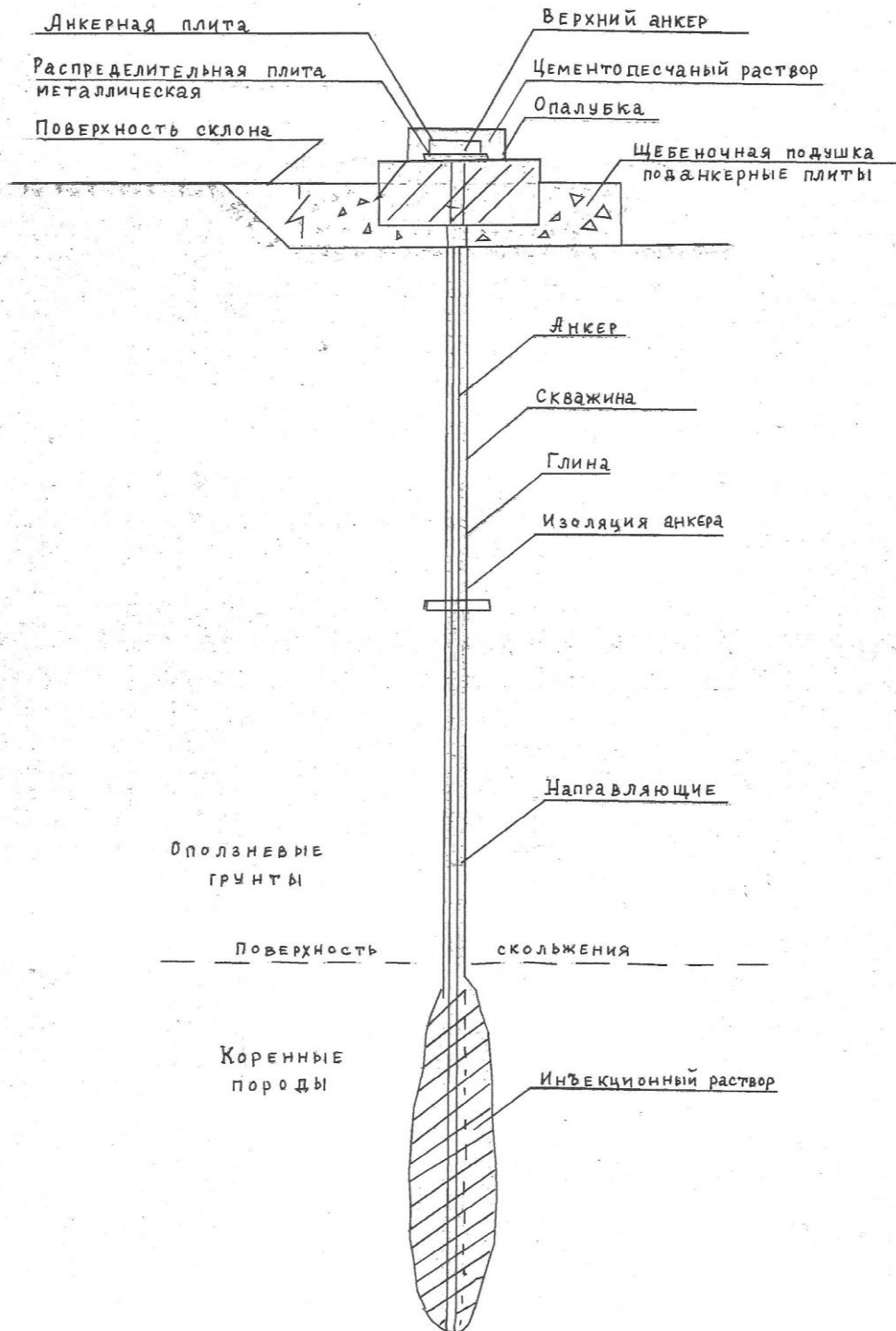


Рисунок 3.1 Анкерна конструкція

### *Пристрій пальової протизсувної споруди*

Протизсувні споруди з буронабивних паль досить широко використовується в умовах Криму. Особливо багато таких конструкцій побудовано на автомобільній дорозі Севастополь - Ялта, причому на багатьох ділянках працюють ці споруди цілком задовільно. Тому розглянути подібну конструкцію в цьому проекті дуже доречно. Палі розташовуються в шаховому порядку на відстанях в ряду, що виключають обтікання палі ґрунтом. Палі поверху об'єднуються залізобетонною плитою ростверку. (Рис.3.2)

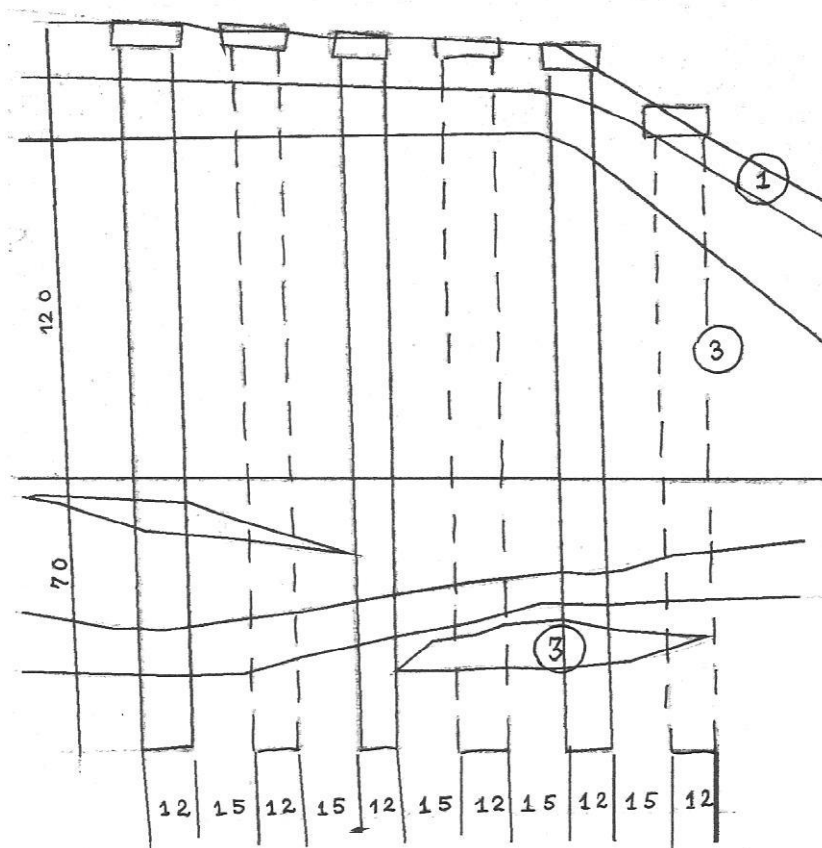


Рисунок.3.2 - Пальова протизсувна споруда

### *Відсіпка контрбанкетів*

При влаштуванні протизсувних споруд контрбанкети поряд з терасуванням схилу, є найбільш простими в будівництві і в більшості випадків найбільш економічними. В даному зсув все ускладнюється тим, що залізниця на цій ділянці проходить виїмкою, підрізати нижню частину стародавнього зсувного схилу, який активізувався. У зв'язку з викладеним не тільки для

розташування контрбанкетів, але і для відновлення порушеної нижньої частині схилу потрібні значні зсуви залізничної колії. Виробленими попередніми розрахунками встановлено, що максимальна зрушення залізничної колії в умовах існуючого плану лінії становить 6,7 м. Це обумовлено близьким розташуванням тунелю і збільшення радіусу складеної кривої (радіуси 312 і 318 м), до 325 м і зменшення довжини перехідної кривої до 60 м (що пов'язано з обмеженням швидкості на перегоні) дозволило лише отримати вищевказану зрушенням, але і при цих параметрах плану лінії на початку тунелю допущена зрушення осі колії на 0,49 м, а зменшення довжини перехідної кривої до 50 м і відповідне скорочення зсування осі шляху в початку тунелю до 0,29 м ще більше погіршує експлуатаційні показники(рис.3.3).

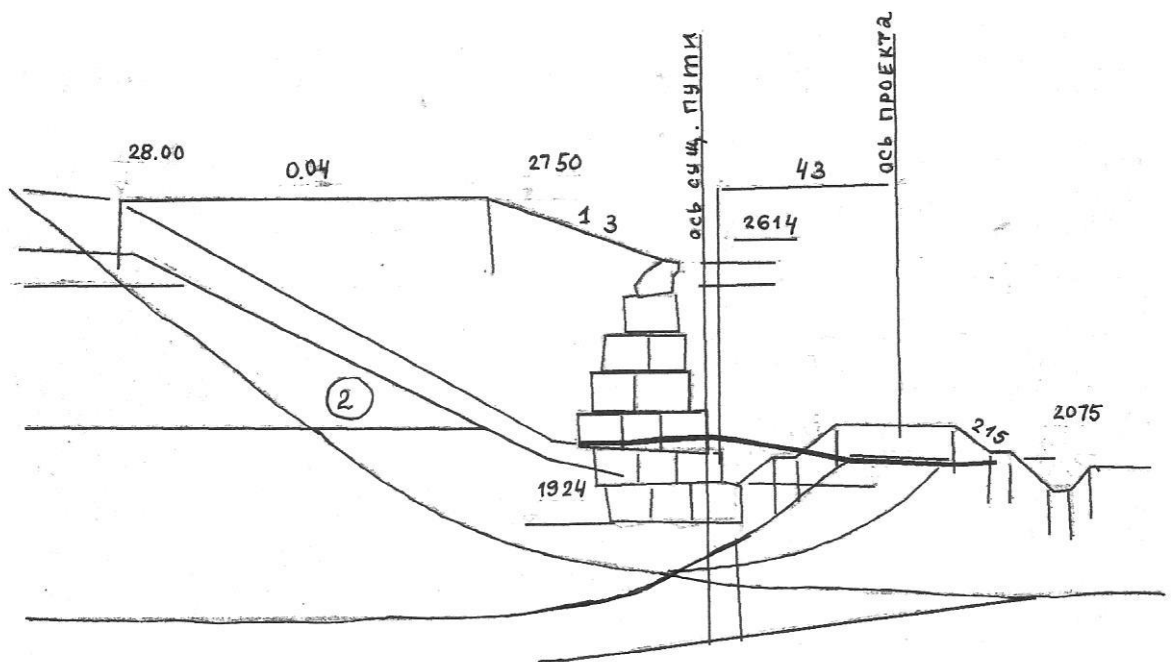


Рисунок 3.3 Відсіпка контрбанкетів

### 3.2 ВИБІР ВАРІАНТУ ПРОТИЗСУВНИХ ЗАХОДІВ

Варіанти пальної протизсувної конструкції і контрбанкетів зі зрушенням шляху не можуть бути прийняті з таких міркувань. Конструкції ці дуже важкі через велику величини зсувного тиску.

З двох варіантів, що залишилися перевагу слід віддати варіанту терасування зсувного схилу, так як він економічніше і більш простий в

будівництві, не вимагає виробництва вельми складних робіт по влаштуванню і натягу анкерів. Слід зазначити також, що анкерна конструкція зі створенням упорної призми в нижній частині схилу за рахунок натягу анкерів практично не застосовувалася і на нашу думку вимагає експериментальної перевірки в різних умовах.

Таким чином, для будівництва може бути рекомендований варіант 1 терасування схилу. Короткий опис варіанта наведено вище. Конструкція протизсувних споруд (дивитися малюнки 6,7,8) зважаючи на простоту не вимагає особливих пояснень.

#### *Умови будівництва*

Ділянка робіт по стабілізації зсуву знаходиться на ділянці залізниці, в межах м. Ц.

В межах ділянки розташовано дві тераси. На верхній терасі шириною 70 м розташована вулиця з одноповерховою забудовою житловими будинками. Нижче по схилу розташована штучна тераса, яка утворилася в результаті підрізування схилу при будівництві залізниці. Ширина цієї тераси 25-40 м.

У нижній частині схилу проходить автомобільна дорога.

Клімат району будівництва посушливий, з сухим, жарким літом, теплою осінню, вологою зимою і затяжною весною.

Середня річна температура повітря в м. Ц. + 12°C. Найбільш теплим місяцем є липень з середньою місячною температурою + 22°C. Абсолютний максимум температур повітря (за 70 років) склав 38°C.

Найхолоднішим місяцем є лютий з середньою місячною температурою повітря + 2,8°C. Абсолютний мінімум температур (за 70 років) склав -22°C. Тривалість теплового періоду з температурою + 10°C становить в середньому 213 днів. Літній період з температурою вище + 15°C триває в середньому 145 днів.

Сніговий покрив з'являється в кінці грудня і сходить у II половині лютого. Висота снігового покриву рідко перевищує 10 см.

Середньорічна кількість опадів становить 395 мм. Найбільша їх кількість випадає на осінньо-зимовий період.

Відносна вологість повітря коливається від 68 до 79%.

Протягом року переважають слабкі 5 м / с і помірні до 9 м / с вітри.

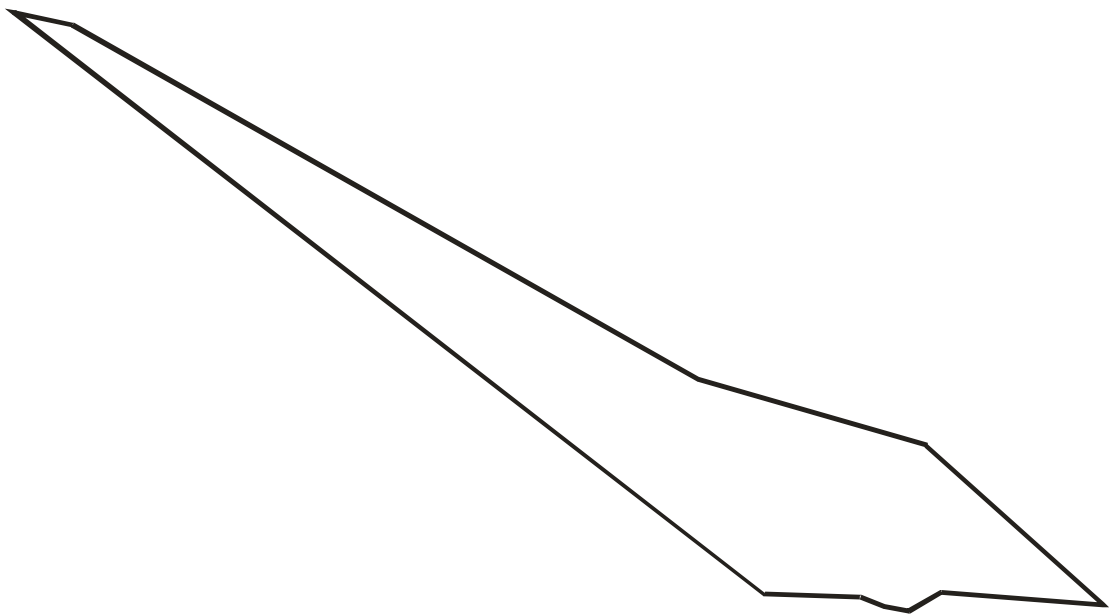
У зимовий період переважають вітри північно-східних напрямків, в летній - південного напрямку.

Район будівництва відноситься до I температурної зони з початком зимового періоду 1 січня і закінченням 31 січня.

Для підрахунків обсягів зрізання ми розбили на прості фігури нижню і верхню тераси.

Верхня тераса

Об'єм 86.69 м<sup>3</sup>



Нижня тераса

Об'єм 39.48 м<sup>3</sup>

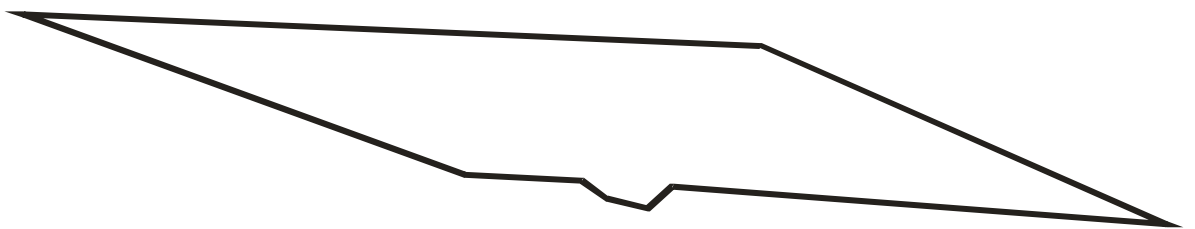


Рисунок 3.4 Об'єми терасування схилів

Результати об'ємів вказані в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Таблиця об'ємів робіт

№ п/п	Перелік робіт	Одиниці виміру	Кількість
I	Зрізання родючого шару ґрунту на товщині 0,5 м	куб.м	5500
II	Зрізання укосу: 1.В ґрунтах 2.Укріплення укосів посівом трав	куб.м куб.м	24850 8000
III	Пристрій водовідвідної каналу L = 320 м 1.Виривання траншей в звичайних ґрунтах 2.Укріплення укосів посівом трав	куб.м кв.м	402 1055

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Незважаючи на невелику протяжність зсувних ділянок (за даними нормативно-технологічної станції по інженерним спорудам колії. На мережі залізниць України вона склала близько 60 км), їх повне усунення неможливо в зв'язку з великими фінансовими витратами. Тому використовують систему моніторингу за станом зсувних ділянок. За результатами моніторингу ведеться відбір найбільш небезпечних ділянок, на яких в першу чергу здійснюється стабілізація зсувних косогорів. Кожному зсувній ділянці визначається своя система стабілізації.

У магістерській роботі розглядався ділянку, на якому зсуви мають широке поширення. Грамотне трасування залізниці дозволило практично уникнути прояв зсувній діяльності в межах розташування земляного полотна. Розглянутий зсув з'явився єдиним винятком і тому особливо несподіваним і складним.

Польові топографічні та інженерно-геологічні роботи виконані.

В процесі виконання роботи по стабілізації зсуву розглянуті чотири варіанти протизсувних заходів. Найкращим по техніко-економічними показниками виявився варіант терасування схилу, який передбачає зрізання не тільки нижній найактивнішої ступені зсуву, але і верхньої, яка в даний час проявляється досить пасивно, але, по видимому, є першопричиною всіх деформацій.

Виконання робіт по зрізку і розвантаження схилу в комплексі з пристроєм прорізів і водовідведення забезпечить стабільний стан схилу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дяченко Л.І., Кислий Г.П., Курач О.В. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України (ЦП 0072). - Дніпропетровськ: Арт-Прес, 2001.- 104с.
2. ДБН В.2.3-19-2018. Споруди транспорту залізниці колії 1520 мм норми проектування
3. Гинзбург Л. К. Противооползневые сооружения/ Л. К. Гинзбург. – Днепропетровск: Лира ЛТД, 2007. – 188 с.
4. Зуска А. В. Применения геодезического мониторинга эффективности защитных сооружений и состояния склонов балок с целью предотвращения оползневых процессов / А. В. Зуска, О. Л. Горбатовых // Научный вестник Национального горного университета. – 2010. – № 11–12. – С. 25–32.