

## Лекція №1. Фактори, що впливають на стійкість відкосу

Зсув виникає коли порода рухається вниз внаслідок дії сили тяжіння та коли напруження зсуву перевищують межу міцності на зсув. Тому фактори, які, як правило, збільшують напруги зсуву або зменшують межу міцності на зсув, збільшують шанси виникнення зсуву.

Різні процеси можуть призвести до зменшення сили зсуву гірської маси.

Загальними факторами, що знижують міцність на зсув маси гірських порід є збільшення порового тиску, розтріскування, набрякання, розкладання глинистих часток, сповзання при постійних навантаженнях, вимивання, деформаційне розміцнення, вивітрювання та циклічне навантаження.

З урахуванням цього, напруга зсуву в гірській масі може збільшуватися внаслідок додаткових навантажень у верхній частині відкосу та збільшення тиску води у тріщинах, збільшення маси ґрунту внаслідок збільшення вмісту води, виймальні породи біля підніжжя відкосу та під сейсмічною дією.

Крім цих причин, факторами, що сприяють виникненню зсуву, є властивості гірської породи, геометрія уступу, напружений стан, температура та ерозія. Фактори, що впливають на погіршення стійкості уступу наведено в таблиці (Презентація).

№	Назва параметрів та властивостей	Деталі
1	Геологічні порушення суцільності	Дефекти, контакти, площини напластування,
2	Вода	Підземні води, водовідведення, опади, водопроникність, водоносний горизонт.
3	Міцність	Міцність на зсув, стискання та розтяг.
4	Геотехнічні властивості порід	Розмір зерна, вологість, межа пластичності.
5	Спосіб створення	Екскаватор, навантажувач, багатоковшовий роторний екскаватор.
6	Динамічні сили	Вибухи, сейсмічна активність.
7	Геометрія відкосу	Висота уступу, кут відкосу уступу.

## Геологічні порушення суцільності

На стійкість гірських порід суттєво впливають структурні розриви в масиві в якому виконуються виймальні роботи. **Порушення суцільності** - це площина або поверхня, що характеризує зміну фізичних або хімічних властивостей в породі. Порушення суцільності може бути у формі площини напластувань, сланцюватості, розшарувань, контакту, окремоті, розлому, щілини, тріщини або площини порушення.

Це порушення суцільності визначає тип зсуву який може виникнути на відкосі масиву породи.

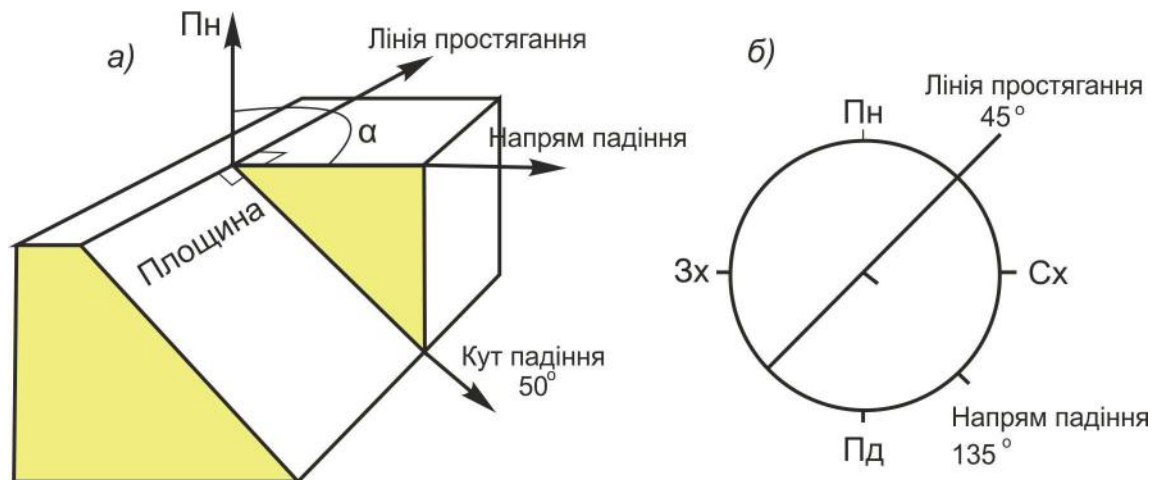
Такі властивості порушення суцільності як орієнтація, стабільність, шорсткість та наповнення відіграють важливу роль в стійкості відкосу скельних гірських порід.

Порушення суцільності можуть виникати багаторазово з однаковими властивостями множини тріщин або можуть бути одиничними порушеннями стійкості (тріщиною), що робить сипкі або скельні породи анізотропними.

Орієнтація головного геологічного розриву відносно гірничих виробок також впливає на можливість виникнення нестійкого стану. Взаємна орієнтація розривів визначає форму окремих блоків.

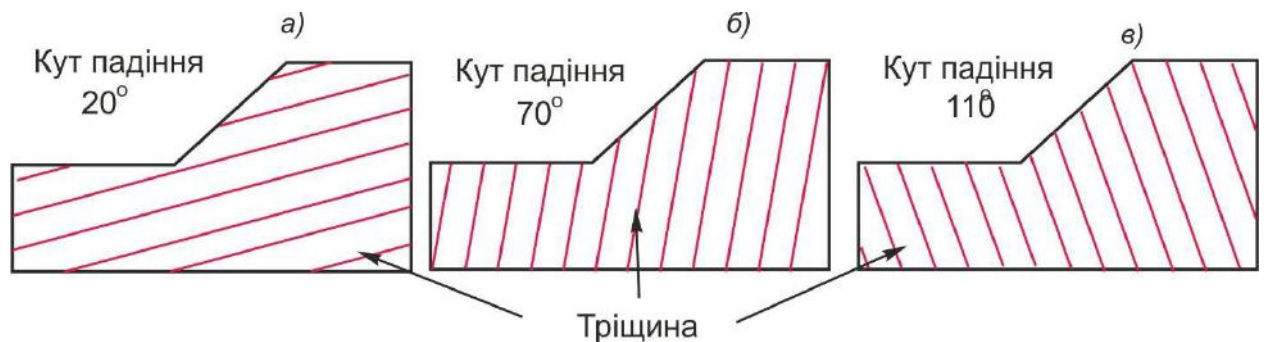
Орієнтація тріщин визначається її падінням (максимальним кутом нахилу до горизонту) та напрямком падіння (напрямом горизонтальної проекції лінії падіння виміряної за годинниковою стрілкою від напрямку на північ).

Лінія простягання знаходиться під прямим кутом до лінії падіння, а співвідношення між лінією простягання та напрямком лінії падіння показано на **аркуші 2 (Презентація)**.



На рисунку 2а пояснюється можливість зсуву по площині при незначному значенні кута відкосу уступу по відношенню до кута падіння

тріщини. Зі збільшенням кута нахилу тріщини до значень кута нахилу відкосу він стає субпаралельним та в такому положенні масив стає відносно стабільним. (Аркуш 3 рис. 2б). Проте подальше збільшення кута падіння тріщини може викликати зсув у вигляді перевертання прошарків (рис. 2с).



Тріщинувата порода демонструє більш високу проникність і знижену міцність зсуву вздовж площини тріщин, окремо з підвищеною деформованістю та незначним напруженням розтягу у напрямку, перпендикулярному до площини тріщини.

Ступінь тріщинуватості визначається числом окремоств за заданим напрямом.

Частота розташування сусідніх окремоств в більшій мірі визначає розмір окремих блоків та режим руйнування.

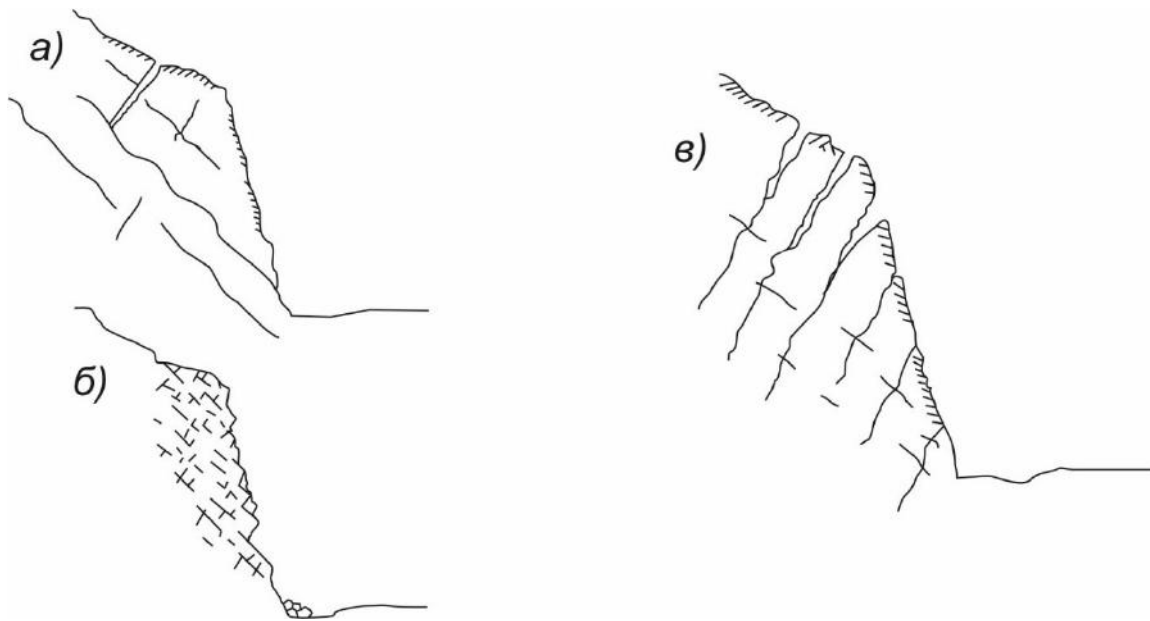
Більш дрібні окремостві дають менше зчеплення гірської маси та можуть спричиняти круглоциліндричний зсув (зсув ізотропного масиву) або текучий зсув. Вони також впливають на стійке порушення цілісності.

Стійке порушення цілісності визначає разом з інтервалом розмір блоків, які можуть зісковзувати з поверхні (Аркуш 4).

Крім того невелика площа непорушеної гірської породи біля підніжжя відкосу може мати позитивний вплив на стійкість тому, що міцність порід вища ніж сили зсуву, що діють у відкосі.

Шорсткість поверхні окремоств є мірою властивої нерівності та хвилястість розриву суцільності відносно її середньої площини.

Кут тертя шорсткої поверхні складається з двох компонентів: тертя гірської породи ( $\phi$ ) і зачеплення, що виникає внаслідок нерівності поверхні ( $i$ ).



## Вплив води

Ефект впливу води на уступ або борт кар'єру можна розглядати у двох випадках.

Перший випадок - ґрунтова вода або водоносний горизонт під поверхнею, що породжує поровий тиск, а інший - інфільтрація дощової води, яка просочується через поверхню і протікає по схилу, та створює водяний тиск.

Це залежить від рівня опадів, топографії, близькості водних мас та гідрологічними характеристиками гірської маси.

У породах середньої міцності вода, що знаходиться в тріщинах гірського масиву, може істотно знизити його стійкість.

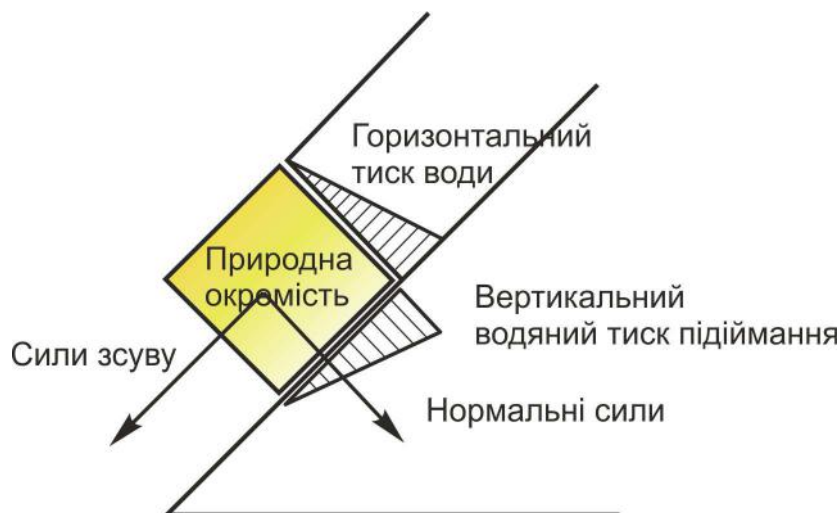
Тиск води, що діє в межах тріщини, знижує ефективну нормальну напругу, що діє в площині, тим самим зменшуючи міцність зсуву вздовж цієї площини.

Якщо на верхній частині уступу прикласти навантаження, тоді збільшиться поровий тиск.

Таке навантаження може призвести до різкого зсуву, якщо він перевищить його межу міцності на зсув.

Наповнення тріщин водою може призвести до зниження стійкості природних або штучних схилів.

На **Аркуші 5** показана фіксація породи, що знаходиться в стані спокою на похилій площині і відокремлена від верхньої частини схилу субвертикальною площиною відриву.



Вода чинить горизонтальний і вертикальний тиск уздовж тріщин.

Гідростатична сила  $U$  також розвивається через воду на поверхні між блоком і його основою.

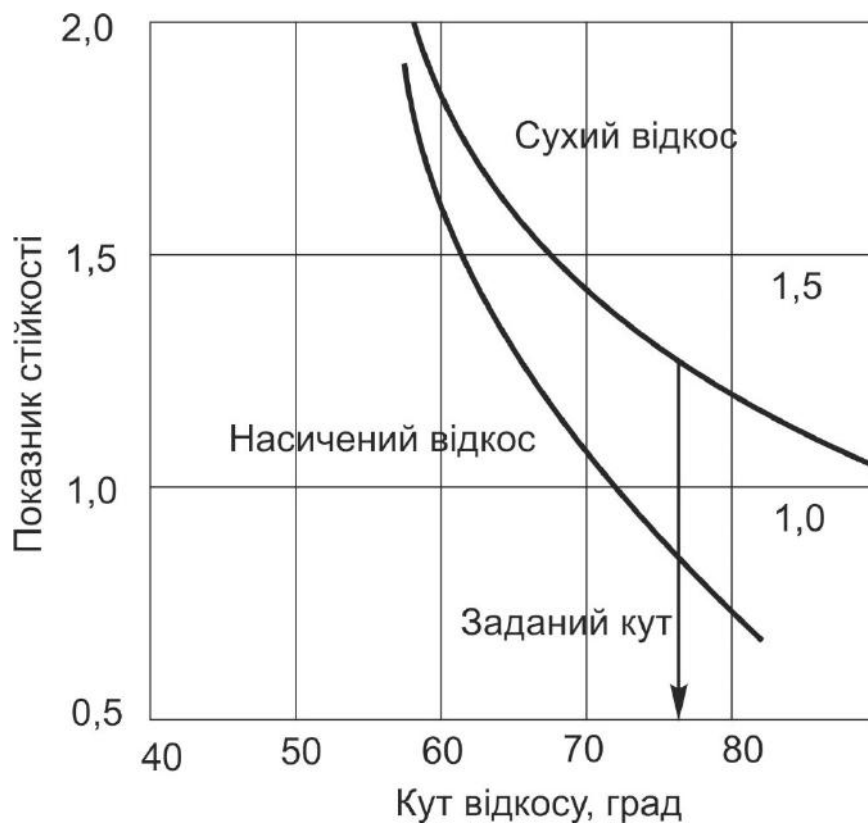
Тиск води лінійно збільшується з глибиною до перетину субвертикальної площини з основою і лінійно зменшується від точки перетину до нижнього краю блоку, що контактує з поверхнею, де тиск води дорівнює нулю.

Надходження води з дощів і снігу додає вагу на схил. Крім того, ґрунтові води також існують майже скрізь під землею. Така вода заповнює порові проміжки між зернами або тріщинами в породі. Така вода може проникати в розриви гірської маси, що замінює повітря в поровому просторі, збільшуючи таким чином вагу ґрунту. Це призводить до збільшення ефективного тиску, що призводить до зсуву схилу.

На **Аркуші 7** зображено вплив вмісту води у масі порід на коефіцієнт безпеки схилу, який знаходиться на різних кутах нахилу.

У ньому зображено збільшення кута нахилу від 60 до 80, коефіцієнт безпеки схилу в умовах сухих гірських порід зменшується з величини 2 на 1.

Оскільки, в умовах насичених гірських порід збільшення кута нахилу робить його нестійким, коли значення перевищує 70.



У ґрунтових та шахтних відвалах, якщо неконсолідований матеріал є сухим або не насиченим, збільшення навантаження стискає повітря в поровому просторі, таким чином, ущільнюючи масу і наближаючи фрагменти зерна або породи, що підвищує його міцність на зсув.

Проте, коли насичена гірська маса, збільшення зовнішнього тиску призводить до збільшення порового тиску, оскільки вода є відносно нестискаємим середовищем.

Це збільшення порового тиску має стримуючий ефект і може бути достатнім для підтримки ваги верхньої гірської маси, тим самим зменшуючи тертя і міцність на зсув.

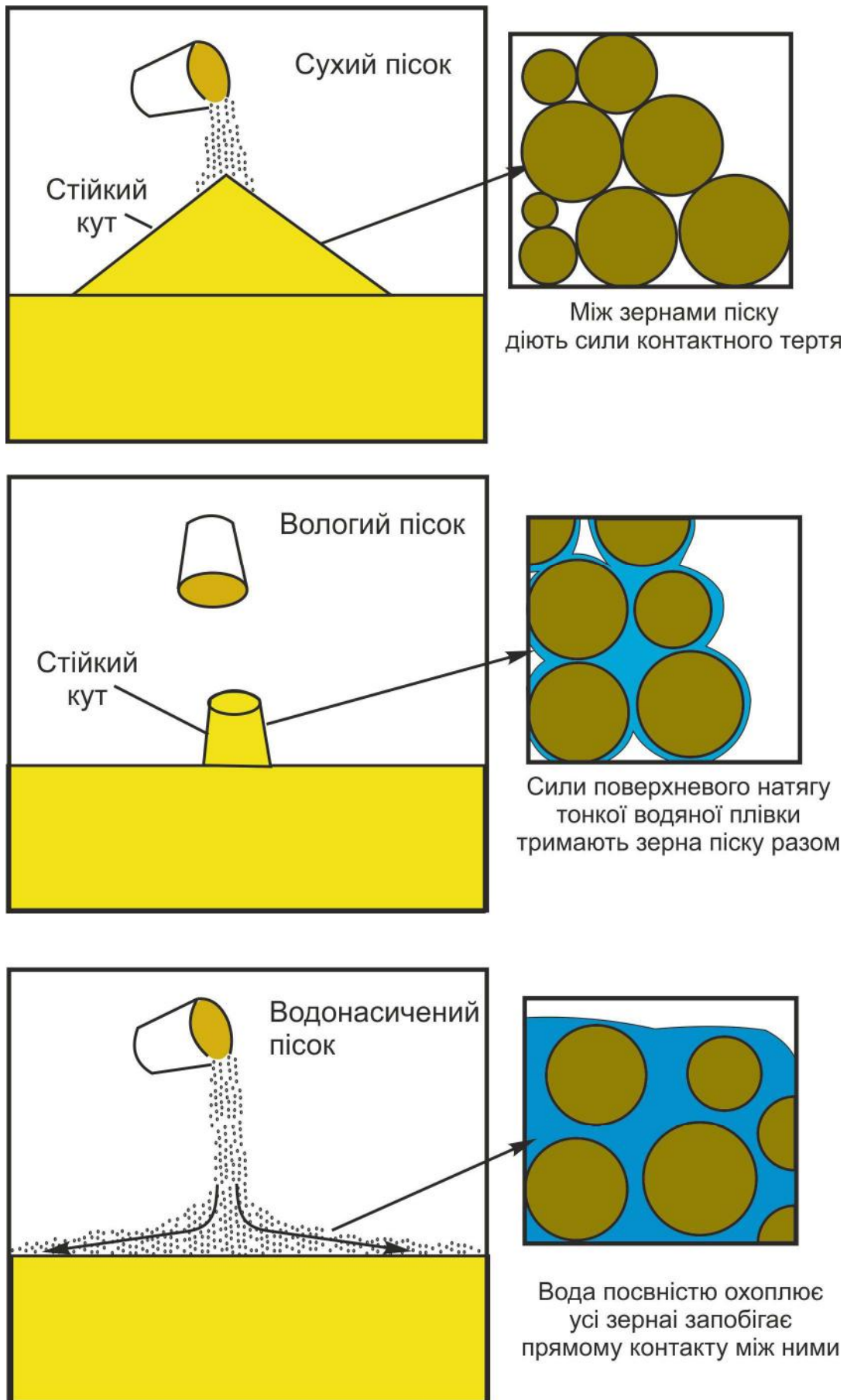
Неконсолідовані відкладення поведуться по-різному залежно від того, чи вони сухі або вологі.

Сухе неконсолідоване зерно з масиву тримає стійкість під кутом (Аркуш 8 рисунок 6а), який зазвичай варіює від 30 до 37 градусів.

На відміну від цього, трохи вологий неконсолідований матеріал демонструє дуже високий кут нахилу, тому що сили поверхневого натягу між водою та зерном мають тенденцію тримати зерна у своїх місцях (рис. 6б).

Це відбувається завдяки притягуванню капіляра, що призводить до поверхневого натягу, що тримає вологий матеріал разом як суцільну масу.

Проте, коли матеріал насичений водою, кут нахилу зменшується істотно (рис. 6с).



Це відбувається тому, що вода потрапляє між зернами, що ізолює зерно до фрикційних контактів між ними.

## Геотехнічні властивості порід

Важливими геотехнічними властивостями, що впливають на стійкість відкосу є міцність порід на зсув, гранулометричний склад, щільності, вологості, деформованість та кут природного відкосу.

Міцність гірських порід є головним важливим чинником, що впливає на стійкість відкосів.

Вона залежить від швидкості деформації, стану дренажу під час зсуву, ефективних напружень, що діють на ґрунт зсувом, історія напружень ґрунту, шлях напруги та будь-яких змін у вмісті та щільності води, які можуть спостерігатися з часом.

Він складається з кута зчеплення та внутрішнього тертя породи.

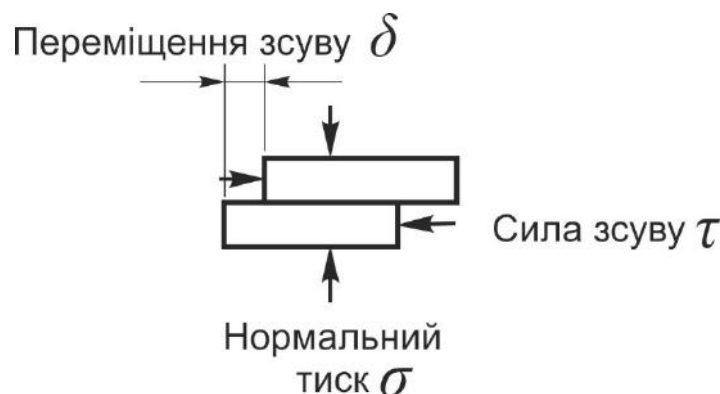
Тертя це сила опору між двома поверхнями. Зчеплення виникає через контакт між поверхнями частинок.

Він залежить від багатьох чинників, включаючи властивості матеріалу, величини та напрямку прикладеної сили та швидкості її прикладення, умов дренажу в масі та величини всебічного тиску.

Зв'язок між максимальною силою зсуву  $\tau$  і нормальним напруженням  $\sigma$  може бути представлена рівнянням Мора-Кулона:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

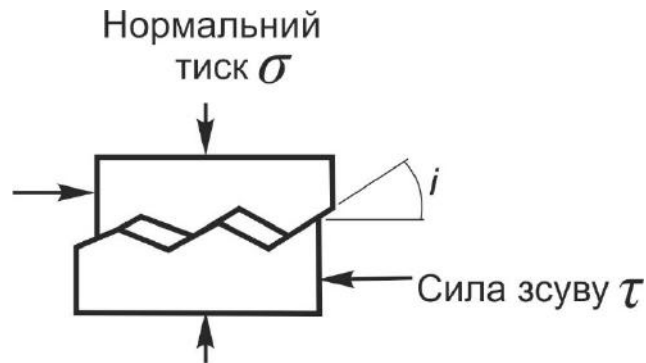
де  $c$  - когезивна міцність, а  $\varphi$  - кут внутрішнього тертя.





Сила зсуву зразків пилоподібного зуба може бути представлена:

$$\tau = \sigma \tan (\varphi + i)$$



де  $\varphi$  - основний кут нахилу поверхні, а  $i$  - кут поверхні пилоподібного зубця.

Матеріали, які є грубими або мають нерівну текстуру поверхні, мають більшу силу опору тертя або силу зсуву, що чинить опір руху. Проте неконсолідовані матеріали, такі як осад та ґрунт, які не мають сильного цементуючого матеріалу або взаємодії кристалів, набагато менш стабільні, ніж тверда порода. Швидкість навантаження, ступінь ущільнення і вміст вологи в гірській масі також впливають на її стійкість до зсуву.

На кут природно відкосу сипкого матеріалу впливає розмір і форма його частинок. Гладкі, округлі частинки мають менший кут відкосу, ніж грубі та нерівні. Грубі фрагменти можуть підтримувати більший нахил, ніж тонкі фрагменти.

Густина також є важливим чинником стійкості до зсуву. Проте його ефект більш виражений в шахтних відвалах, де це залежить від способу укладки, градації та історії завантаження. Порівняно невелике збільшення густини може збільшити міцність зсуву відвалу, але також підвищує напругу внаслідок зростання гравітаційного навантаження.

### **Спосіб створення**

Фактори, пов'язані з методом видобування і впливу на стійкість уступу, включають метод, що використовується для підготовки поверхні, розкривні роботи, укладка та переєксквації розкривних порід.

Важливі фактори, що стосуються конфігурації відвалу, зональності, поверхні потенційної небезпеки, інженерних властивостей розкривних порід

та тиску порової води також є дуже значними. Щільність порід вдвалів також контролюється способом градації осадження та історії укладки. Це, в свою чергу, може вплинути на силу зсуву тераси відвалу. Далі важливим є тип обладнання, що використовується для укладки у відвал, що також впливає на його ущільнення. Комбінація механічної лопати та автосамоскида разом з використанням бульдозерів для вирівнювання створює відвал максимально ущільнений, що забезпечує максимальну міцність розкритих порід. На противагу цьому, роторний багатоковшевий екскаватор самотійно або у поєднанні з відвалоутворювачами створює матеріал низької міцності в дуже розпошеному стані. Драглайн розміщує зачерпнутий матеріал після скидання його з висоти, що частково його ущільнює. Таким чином, матеріал у відвалах драглайнів демонструє щільність між двома перерахованими вище випадками.

### **Динамічні сили**

Сейсмічні хвилі, що проходять через масив порід, додають напруги, які можуть спричинити руйнування у гірській масі. Внаслідок цього тертя зменшується в неконсолідованих частинах, оскільки вони розщеплені, що може спричинити зрідження. Обвали є однією з основних небезпек, спричинених землетрусами.

Вибухи та землетруси впливають на стійкість порід двома різними способами з різними масштабами часу. Перший ефект - у вигляді безпосереднього спільного сейсмічного відриву каменю від поверхні відкосу. Другий ефект виникає протягом більш тривалого періоду часу, пов'язаного з відкриттям тріщин та розколом порід, що може призвести до зсувів у майбутньому. Такі ефекти сейсмічності на гірських схилах сильно залежать від локальних умов маси гірських порід. Геологічна та топографічна обстановка району також може впливати на рівень сприйнятливості зсуву масиву під впливом сейсмічності.

### **Геометрія відкосу**

Важливі параметри геометрії уступу, що впливають на його стійкість, включають висоту та кут нахилу.

Критична висота нахилу залежить від міцності порід, щільності та несучої здатності основи. Стабільність уступу зазвичай зменшується з збільшенням висоти нахилу відкосу. При збільшенні висоти уступу напруга зсуву в межах основи уступу збільшується завдяки доданій вазі. Напруги зсуву також пов'язана з масою матеріалу та кутом нахилу. Зі збільшенням кута нахилу зростає тангенціальний напруга, що призводить до збільшення напруги зсуву таким чином, зменшуючи його стійкість