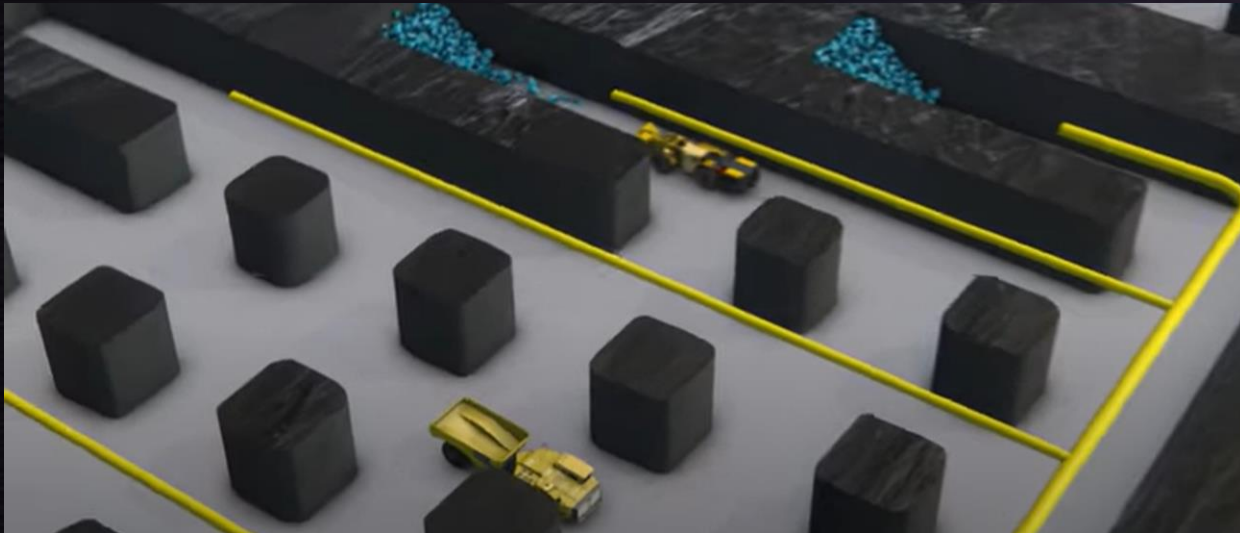


ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

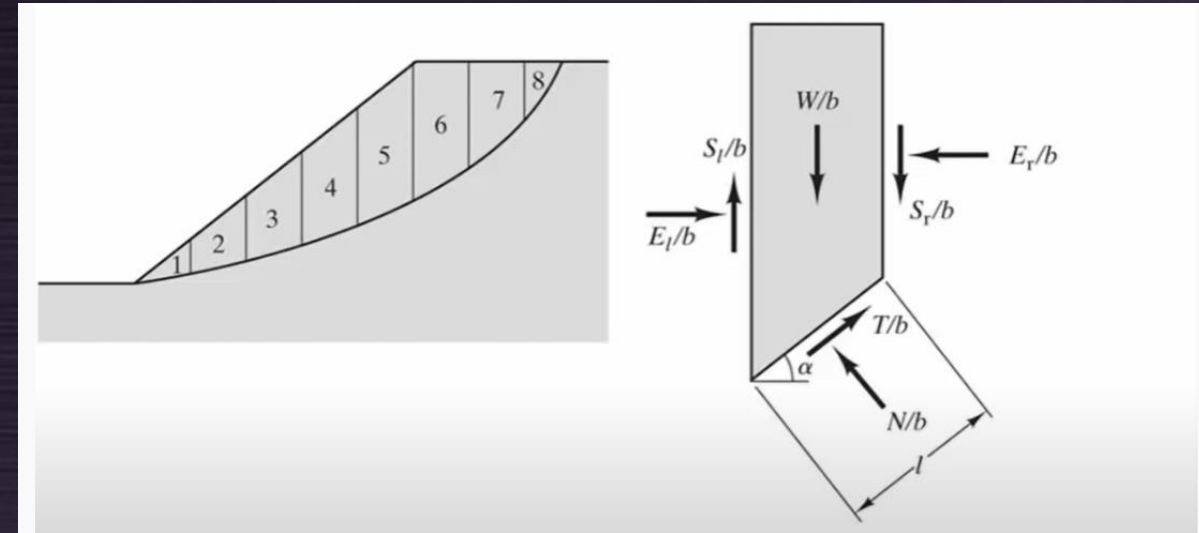
Кафедра гірничих технологій і будівництва ім. проф. Бакка М.Т.

МЕХАНІКА ГІРСЬКИХ ПОРІД

СТІЙКІСТЬ ЦЛИКІВ ТА ПОТОЛОЧИН КАМЕР



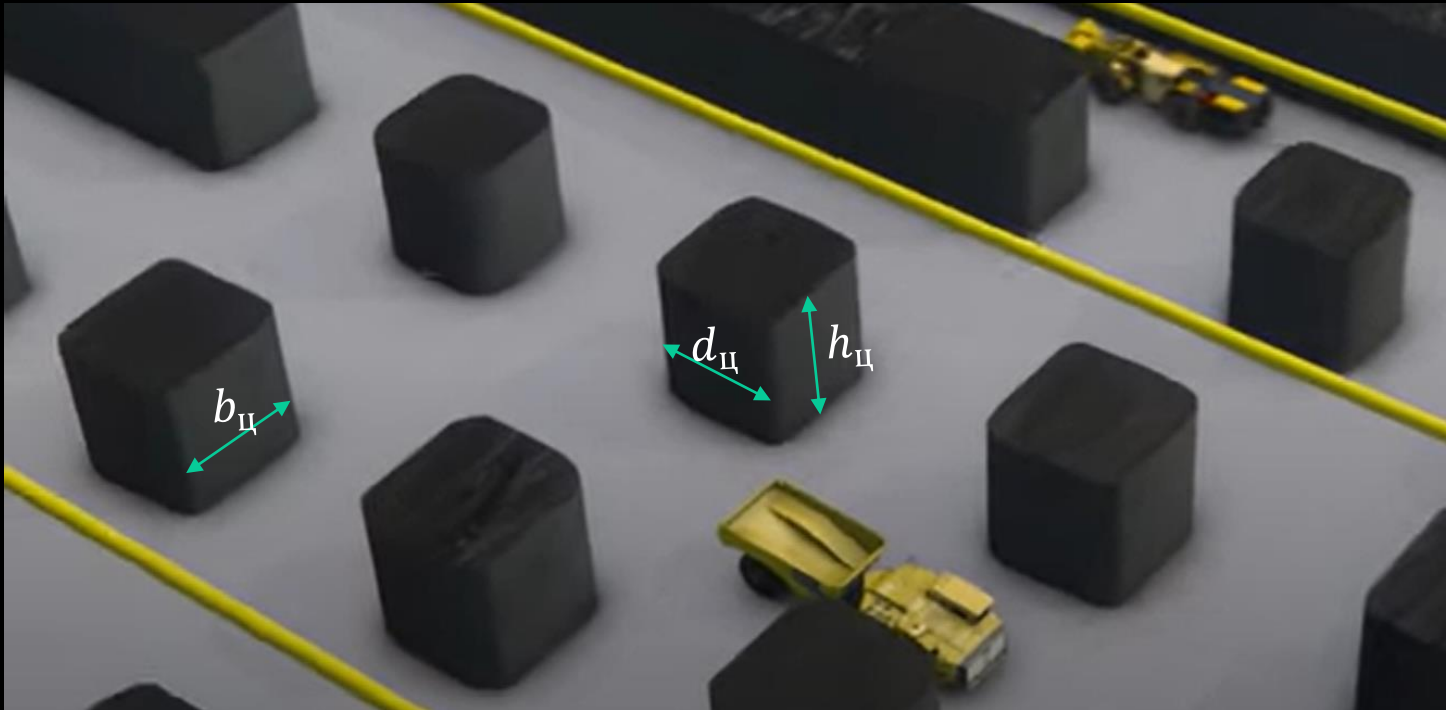
СТІЙКІСТЬ УСТУПІВ І БОРТІВ КАР'ЄРІВ



Лектор к.т.н., доцент
ПАВЛОВ Євген Євгенійович

• За А.А. Борисовим основними класифікаційними ознаками, які дозволяють виділяти ті чи інші групи ціликів є:

- призначення,
- геометрична форма в плані,
- співвідношення висоти до ширини,
- структура і розташування в межах ділянок виймання.



СТІЙКІСТЬ ЦІЛИКІВ ТА ПОТОЛОЧИН КАМЕР

Призначенням ціликів, як конструктивних елементів підземної частини шахти, є запобігання розвитку недопустимих деформацій на поверхні і в утворених у породному масиві штучних порожнинах.

$h_{ц}$ – висота цілика

$b_{ц}$ – ширина цілика

$d_{ц}$ – довжина цілика

За призначенням цілики поділяються на:

- а) **охоронні**, які залишаються для охорони різних наземних і підземних об'єктів від впливу гірських робіт;
- б) **бар'єрні**, які залишаються між сусідніми шахтними полями для загородження проти прориву води чи газів;
- в) **міжповерхові**, які залишаються між сусідніми поверхами з метою забезпечення їх експлуатаційних можливостей;
- г) **дільничні**, які залишаються між сусідніми ділянками;
- д) **панельні**, які залишаються між сусідніми панелями;
- е) **міжблокові**, які залишаються між сусідніми блоками;

СТІЙКІСТЬ ЦІЛИКІВ ТА ПОТОЛОЧИН КАМЕР

- є) **нахилені**, які залишаються для забезпечення стійкості похилих виробок протягом всього терміну їх служби;
- ж) **міжкамерні**, які залишаються між камерами при камерних і камерно-стовпових системах розробки;
- з) **спеціального** призначення;
- і) інші.

За формою в плані розрізняють:

• цілики у вигляді довгих стін

$$\frac{d_{\text{ц}}}{b_{\text{ц}}} > 3$$

• цілики у вигляді коротких стін

$$\frac{d_{\text{ц}}}{b_{\text{ц}}} = 1 \dots 3$$

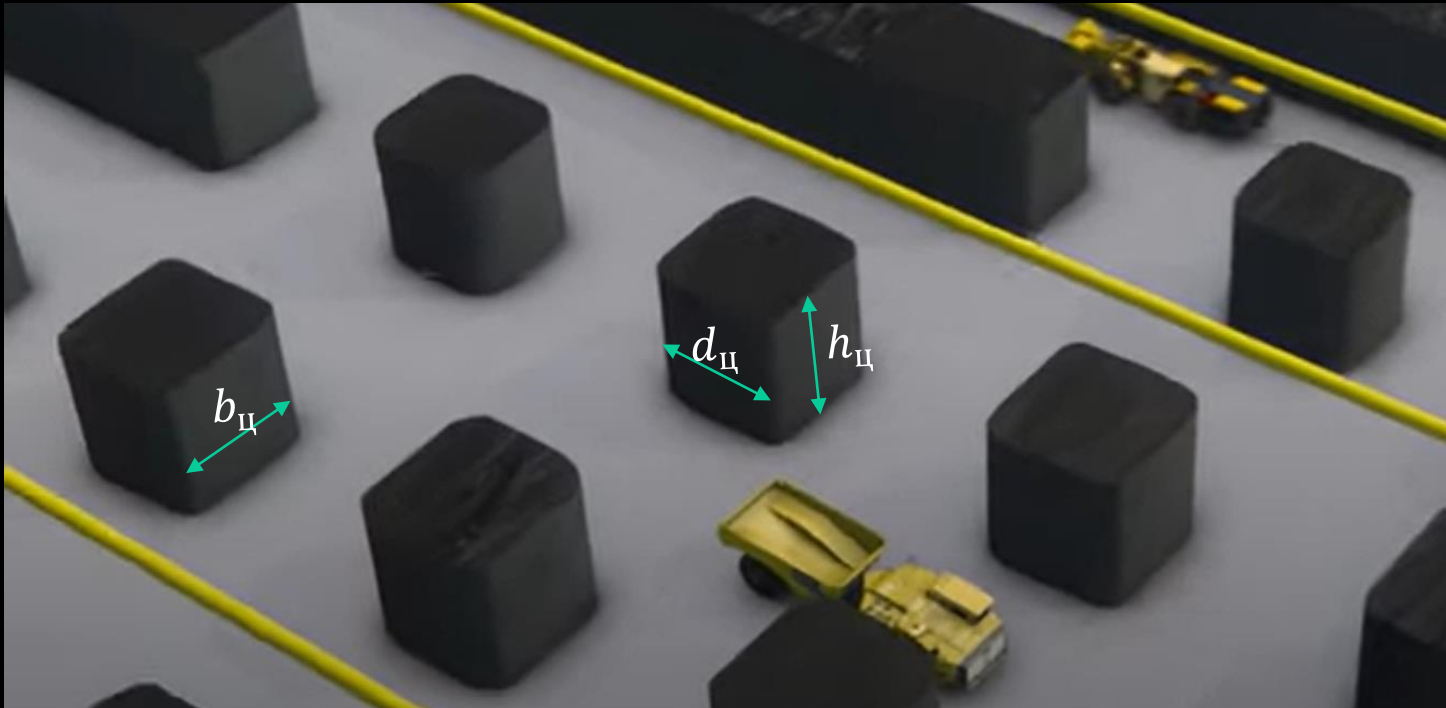
• цілики у формі квадратних чи круглих стовпів.

СТІЙКІСТЬ ЦІЛИКІВ ТА ПОТОЛОЧИН КАМЕР

За відношенням висоти цілика до його ширини виділяють:

а) низькі $\frac{h_{\text{ц}}}{b_{\text{ц}}} > 1,5$

б) високі $\frac{h_{\text{ц}}}{b_{\text{ц}}} < 1,5$



$h_{\text{ц}}$ – висота цілика

$b_{\text{ц}}$ – ширина цілика

$d_{\text{ц}}$ – довжина цілика

За структурою розрізняють цілики:

- а) однорідні;
- б) шаруваті;
- в) складені – складаються з окремих частин, які орієнтуються у напрямках, близьких до вертикальної осі цілика;
- г) важкоструктурні.

У межах ділянки цілики можуть розташовуватися:

- а) регулярно, утворюючи необмежену періодичну послідовність однакових за своїми розмірами і формою міжкамерних і інших опорних елементів;
- б) періодично, утворюючи необмежену періодичну послідовність опорних елементів, що мають різні розміри і форму на різних ділянках;
- в) безладно, утворюючи безсистемну сукупність опорних елементів різних розмірів і форм

СТІЙКІСТЬ ЦІЛИКІВ ТА ПОТОЛОЧИН КАМЕР

Залежно від гірничотехнічних і гірничо-геологічних умов, застосовуваної технології видобутку цілики розробляють після відпрацювання основної частини корисної копалини або ж залишають у надрах.

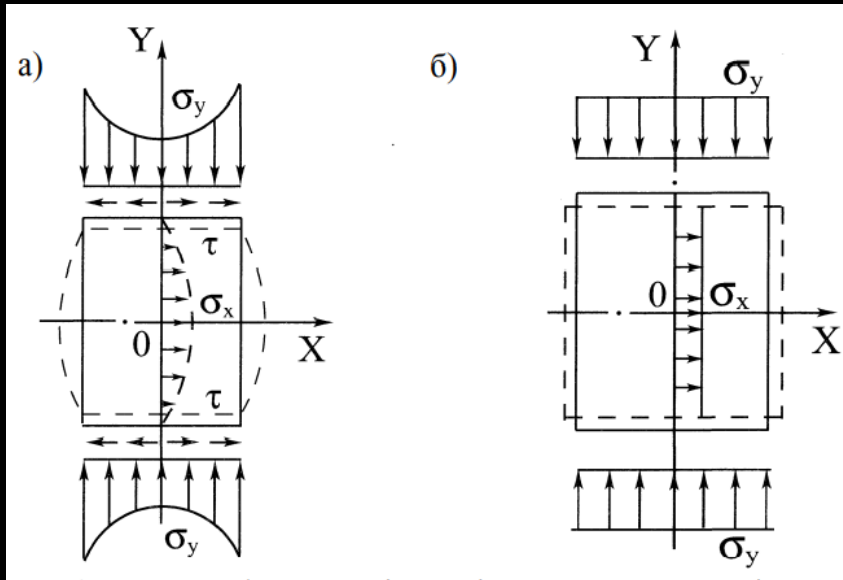
У першому випадку це вимагає особливої організації видобувних робіт і навіть застосування специфічних систем розробки;

У другому – приводить до додаткових втрат корисних копалин.

Задача раціонального використання надр зводиться до задачі оптимізації: як при дотриманні безпечних і екологічно прийнятних умов експлуатації родовища з одного боку, досягти найбільш повного його відпрацювання з іншого, забезпечивши при цьому мінімальні капітальні і експлуатаційні питомі витрати

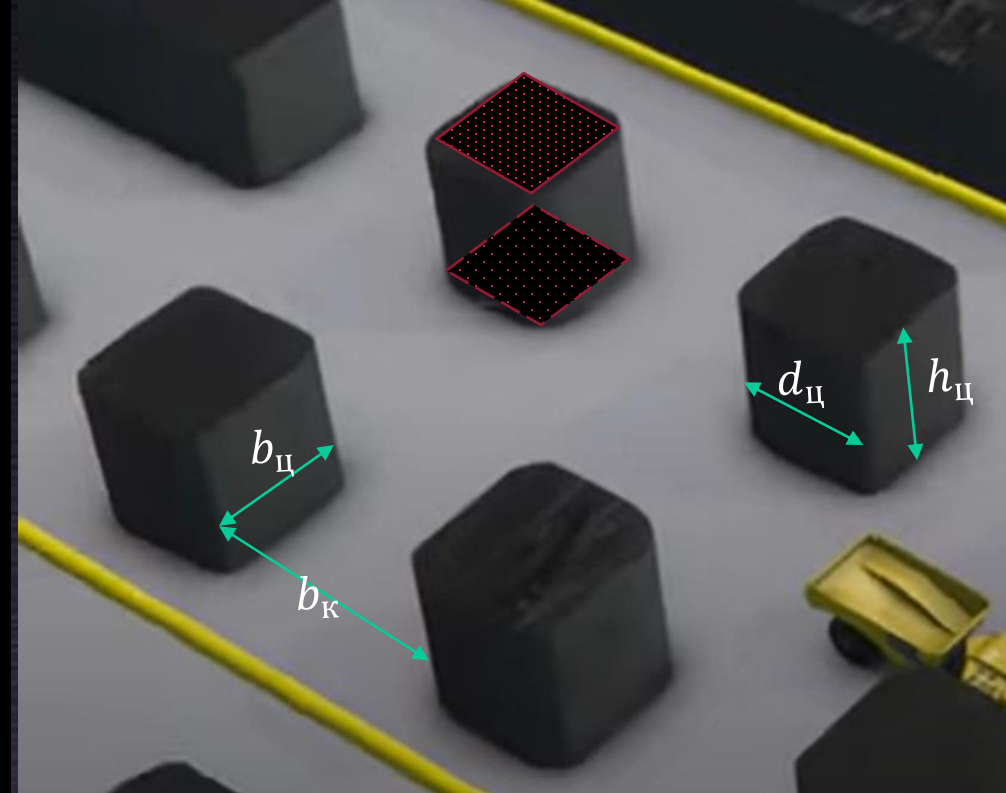
Основними типами контактів ціликів з породами є:

- повне зчеплення (цілики та породи зі сторони ґрунту і покрівлі являють собою одну породу);
- неповне зчеплення (на границі ціликів з породами покрівлі і ґрунту мають місце менш міцні прошарки);
- практично повна відсутність зчеплення (на границі ціликів з породами покрівлі і ґрунту є прошарки пластичних порід).



Характер деформування і розподілення навантаження в ціликах при жорсткому (а) і пластичному (б) контактах з породами

Взаємодія ціликів і камер з породним масивом



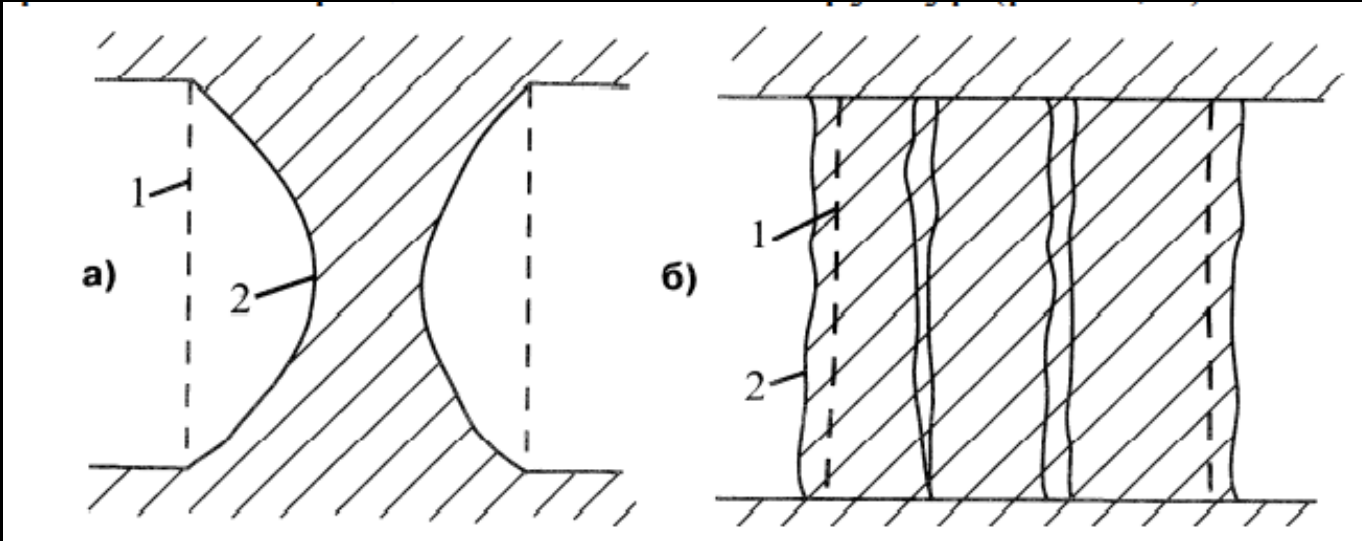
$h_{ц}$ – висота цілика
 $b_{ц}$ – ширина цілика
 $d_{ц}$ – довжина цілика
 $b_{к}$ – ширина камери

Взаємодія ціликів і камер з породним масивом

Характер руйнування ціликів багато в чому визначається їх пружно-деформованим станом і структурою.

При твердому зіткненні з породами в однорідних ціликах відбувається утворення так званих верхньої та нижньої пірамід з основами, які розміщені на площинах контакту (а).

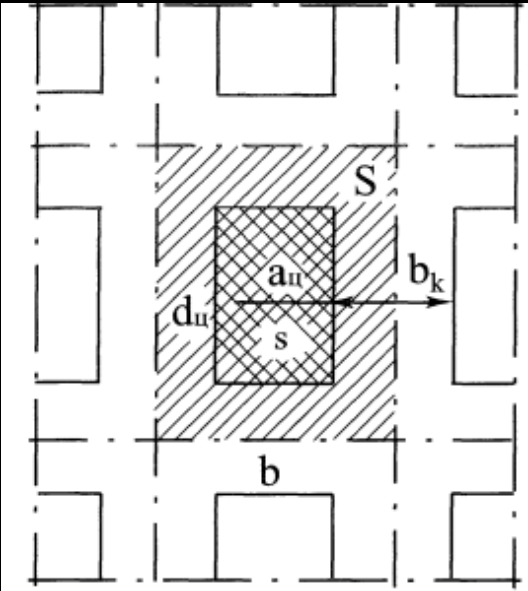
При наявності пластичних прошарків на контактній поверхні, руйнування ціликів відбувається з утворенням вертикальних тріщин і стовбчастих структур (б).



Форми руйнування ціликів:

1 – вихідне зображення;

2 – зображення після деформування



За методом Л.Д. Шев'якова розміри ціликів визначаються, виходячи з уявлення, що вони працюють в умовах одновісного стиснення, а вертикальні напруження в будь-якому горизонтальному перерізі розміщені рівномірно. При цьому фактичну нерівномірність розподілення вертикальних напружень у ціликах враховують введенням коефіцієнта запасу міцності

$$p = SH\gamma,$$

S – площа виробленого простору, H – глибина розміщення ціликів, γ – середньозважена об'ємна вага шарів порід над ціликами

Схема для визначення стовпчастих ціликів за Л.Д. Шев'яковим

Розрахунок допустимої ширини міжкамерних ціликів

Метод розрахунку ціликів **В.В. Соколовського** заснований на застосуванні теорії граничної рівноваги. Ідея методу полягає в тому, що спочатку визначають таке навантаження P_{AD} на середній переріз цілика AD , при якому він переходить у стан граничної рівноваги, а потім порівнюють отримане значення з вагою стовпа порід над ціликом, тобто з максимально можливим навантаженням, і одержують коефіцієнт запасу міцності

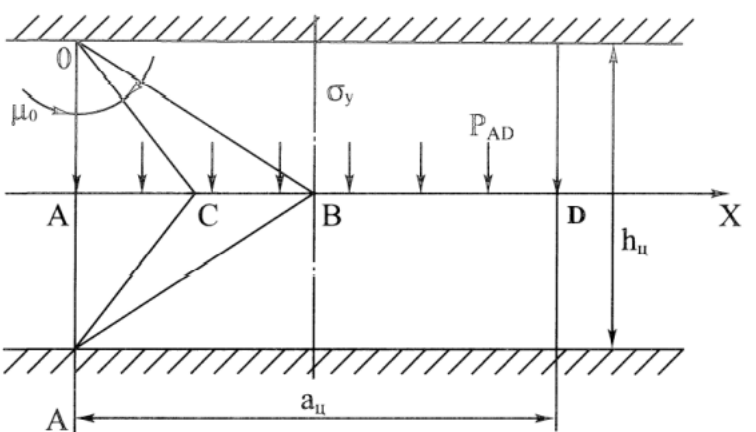
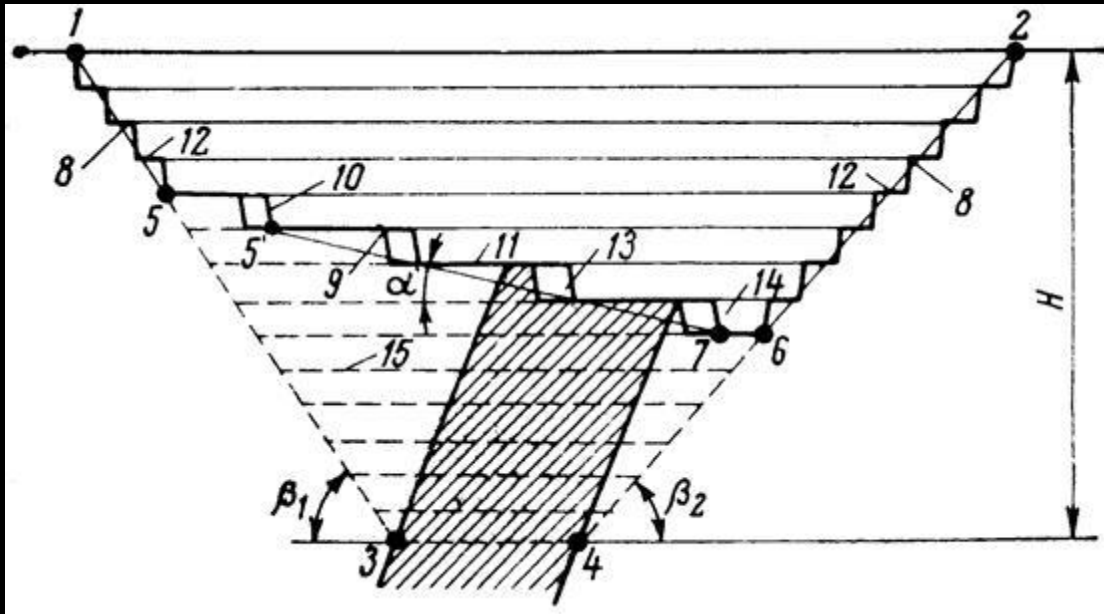


Схема визначення напруження в цілику за В.В. Соколовським

- Положення відкосу характеризується, насамперед, кутом нахилу його поверхні до горизонтальної площини.
- Якщо в проекті будівництва кар'єру закладені завищені значення кутів нахилу відкосів, це може привести до порушення їхньої стійкості і викликати раптові руйнування уступів чи бортів кар'єрів.
- При занижених же значеннях кутів нахилу породних відкосів і великій глибині кар'єру виникає проблема економічної доцільності розробки родовища відкритим способом.



СТІЙКІСТЬ УСТУПІВ І БОРТІВ КАР'ЄРІВ

При розробці родовищ корисних копалин відкритим способом особливе значення має проблема стійкості породних відкосів – уступів і бортів кар'єрів.

Наприклад, на кар'єрах глибиною до 300 м зменшення результуючого кута нахилу борта на 3...4° приводить до збільшення об'єму вскриши до 10...11 млн. м³ на 1 км фронту робіт .

- Деформації порід у кар'єрі починаються відразу ж після утворення відкритої гірської виробки і відбуваються практично протягом всього терміну служби.
- Розрізняють **неперервні** (осідання, осипи, суфозійні і поверхневі опливання) і **циклічні** (зсуви, обвалення і т.д.) процеси.
- Найбільшу небезпеку представляють циклічні процеси.
- **Оповзень** – повільний зсув мас гірських порід, що складають відкіс (а іноді і його основу), який відбувається у виді ковзного руху між породами, які зміщуються, і нерухомим масивом.
- Зсуви відбуваються при кутах нахилу, бортів і відкосів уступів пологіше $25...35^\circ$. Активна стадія зсувів протікає протягом значного часу (від декількох годин до місяців). Оскільки зсуви нерідко втягують у рух значні маси гірських порід (до декількох мільйонів кубічних метрів), вони часто є причиною повного припинення робіт у кар'єрах

Форми прояву зрушення порід при відкритій розробці

Опливина – переміщення у вигляді потоку насиченого водою до текучого стану деяких різновидів піщано-глинистих порід порушеної структури (пилуватих пісків і глин, лесоподібних суглинків і лесів), які розтікаються по площадках уступів під кутом $4...6^\circ$ і менше. Опливини захоплюють значні обсяги порід, розвиваються дуже інтенсивно, часто набуваючи катастрофічний характер.

- **Обвалення** – швидкий зсув породних мас чи блоків і пачок порід, які складають відкіс, що супроводжується дробленням частини масиву, що зміщується.
- Поверхня відриву порід, що обвалюються, як правило, збігається з різного роду структурними послабленнями масиву і має нахил, який перевищує кут внутрішнього тертя. Тому після подолання сил зчеплення масив, що відірвався, не може втриматися на цій поверхні силами тертя і переміщується вниз до підосви відкосу.
- Активна стадія обвалення протікає практично миттєво, що становить велику небезпеку для людей і механізмів, які працюють на нижчележащих уступах.
- Обвалення виникають при кутах відкосів, що перевищують $25...35^\circ$ і захоплюють іноді значні частини масивів гірських порід.
- **Осип** – руйнування і зсув приповерхневої частини крутих відкосів.
- Осипи формуються протягом значного періоду часу (декількох років) і характерні для всіх типів гірських порід. Відомі випадки, коли осипи були джерелами утворення більш великих порушень стійкості: зсувів, опливин.

Форми прояву зрушення порід при відкритій розробці



- **Просідання** – нерівномірне вертикальне опускання ділянок уступів і поверхні відвалів, складених високопористими пухкими породами природної і порушеної структури під впливом власної ваги, зволоження атмосферними опадами, динамічних навантажень і т.п.
- При просіданнях, як правило, не утворюється суцільна поверхня ковзання. Звичайно це найменш небезпечний вид порушення стійкості, однак при певних умовах він може стати причиною серйозних порушень режиму роботи, аварій і травм.
- **Фільтраційні деформації**, викликані підземними водами, поділяють на **опливання**, **механічну суфозію** і **фільтраційний виніс** вздовж тріщин.
- **Опливання** зв'язане з переносом і перевідкладенням ґрунтових часток підземними водами, що впливають на відкіс в межах ділянки їх просочування. Найбільшого розвитку цей процес набуває в піщаних ґрунтах.

Форми прояву зрушення порід при відкритій розробці

- **Механічна суфозія** – це винесення дрібних частинок з масиву гірських порід під впливом гідродинамічних сил.



- **Фільтраційний виніс** вздовж тріщин носить ерозійний характер і розвивається в слабозцементованих породах з характерною тріщинуватістю

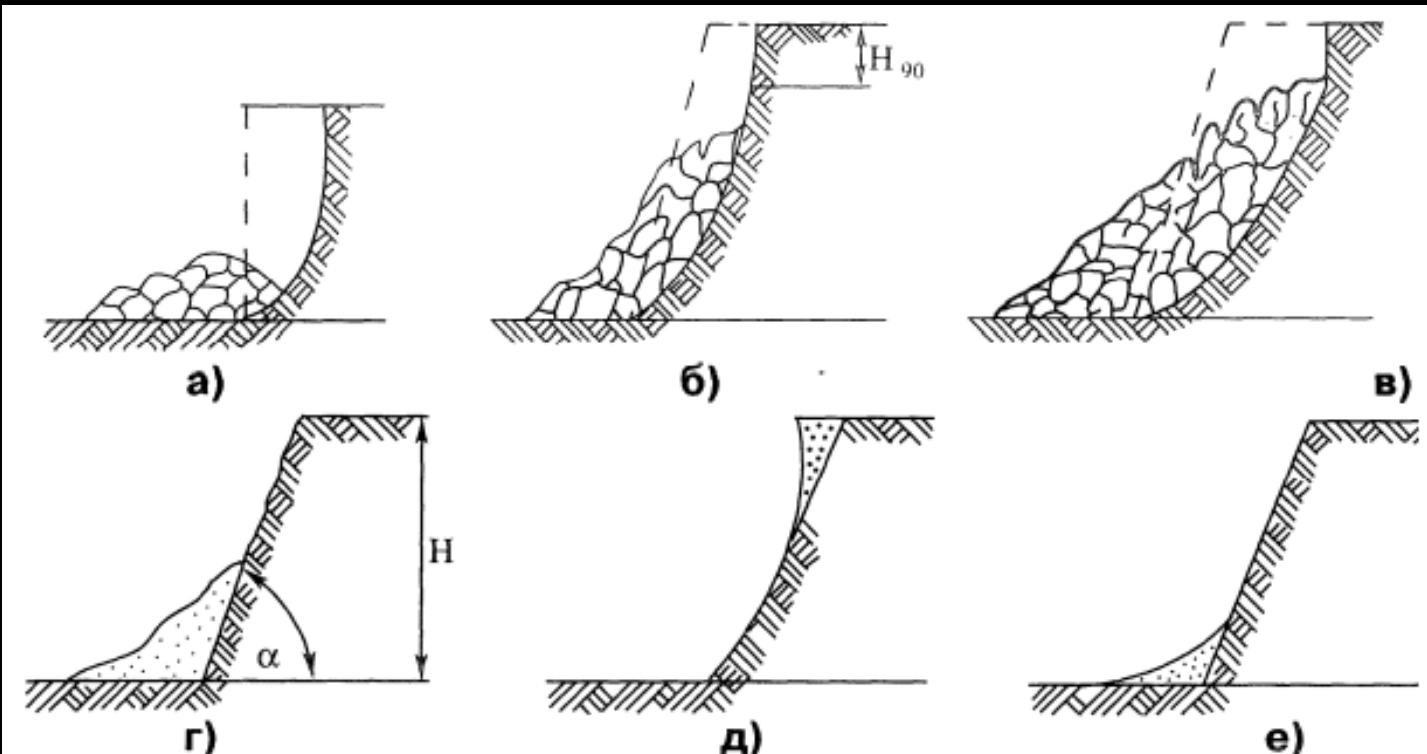
- Напруження в масиві ґрунту, з якого формується відкіс, визначаються власною вагою порід і додатковим навантаженням від ваги машин, будівель і інших об'єктів, розташованих на борті відкосу.
- При збільшенні крутості відкосу відбувається зростання тангенціальних (здвигаючих) напружень і при досягненні ними величин, що перевищують межу опору зрушення порід, рівновага відкосу втрачається і відбувається його деформування по деякій поверхні зрушення.

Основні положення методів розрахунку стійких відкосів і бортів кар'єрів

Висота вертикального відкосу за формулою В.В. Соколовського – І.А. Симвуліди:

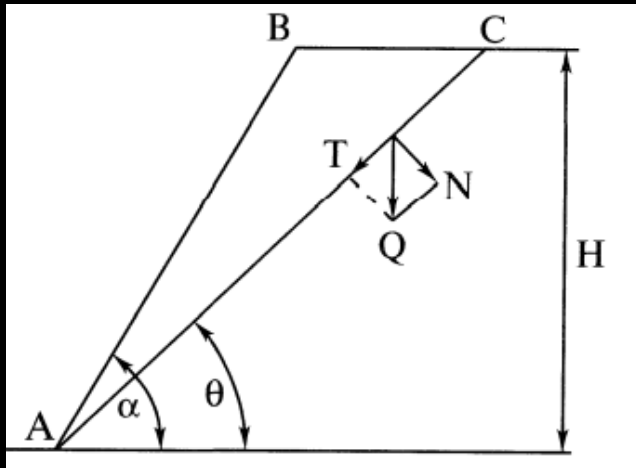
$$H_{90} = \frac{2c}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(\frac{90^\circ - \rho}{2} \right),$$

c і ρ – зчеплення і кут внутрішнього тертя порід відкосу,
 γ – об'ємна вага



Види деформацій породних відкосів:
 а) осипи, б) обвалення козирків,
 в) опливини, г) обвалення невисоких уступів ($H < H_{90}$), д) обвалення високих уступів ($H > H_{90}$), е) оповзні

- Методи розрахунку відкосів, основані на гіпотезі плоскої поверхні зсування



Допускається, що однорідний масив має опір порід розриву, рівний нулю. Зрушення блоку ABC шириною рівною одиниці відбувається по площині, AC – слід цієї площини. Здвигаючою є проекція сили ваги T призми ABC на лінію AC, утримуючими – сили зчеплення C і тертя $N \operatorname{tg} \rho$ вздовж лінії AC. У загальному вигляді умова рівноваги порід по поверхні здвигання AC має вигляд:

$$Q \sin \theta = Q \operatorname{tg} \rho \cos \theta + Cl,$$

де l – довжина сковзання AC,
 θ – кут нахилу поверхні ковзання.

Методи розрахунку відкосів, основані на гіпотезі плоскої поверхні зсування

$$H = \frac{2C}{\gamma} \cdot \frac{\sin \alpha \cos \rho}{\sin^2(\alpha - \rho)},$$

Висота вертикального відкосу:

$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma} \cdot \frac{\cos \rho}{\sin^2\left(\frac{90^\circ - \rho}{2}\right)}.$$

C – сила зчеплення, γ – об'ємна вага

Об'єм породи, розміщений між поверхнею оголення відкосу і поверхнею можливого ковзання, називають призмою можливого обвалення. Здвиження сили на поверхні можливого ковзання обумовлюються, в основному, вагою порід призми обвалення.

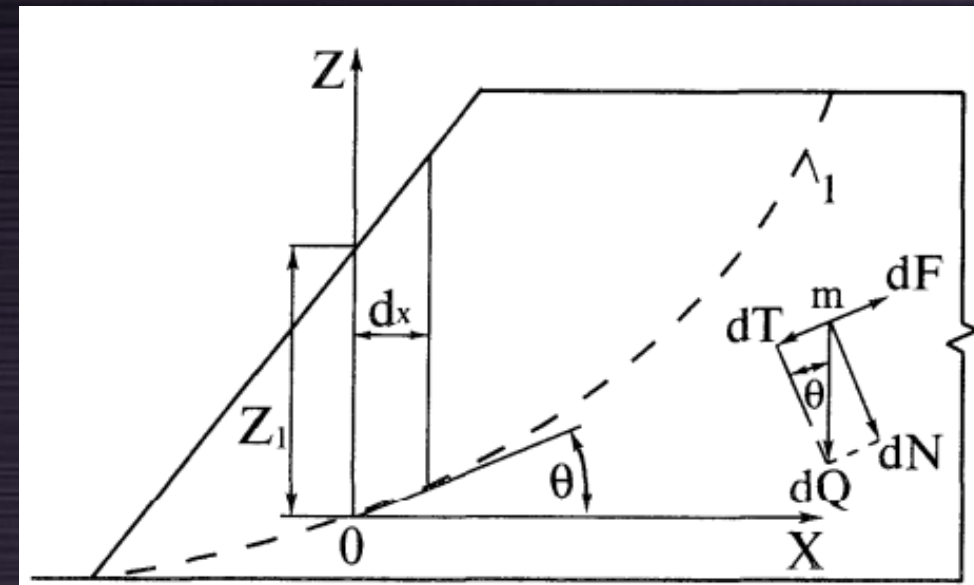
Метод Ю.М. Соловйова заснований на прийнятті моделі гіпотетичного ґрунту, особливістю якої є припущення про те, що у вертикальних площинах породного масиву відсутні нормальні напруження а, отже, між вертикальними блоками, на які умовно розбита призма можливого обвалення, відсутні сили тертя.

Рівняння екстремальної поверхні здвиження:

$$\frac{c}{\gamma Z_i} = (\operatorname{tg} \rho + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \cos^2 \theta.$$

Для побудови поверхні зрушення за цим методом, який часто називають методом відкосів, необхідно знати початкове значення Z_i і від точки до точки визначати екстремальне положення поверхні здвиження.

Методи розрахунку відкосів, засновані на гіпотезі криволінійної поверхні здвиження



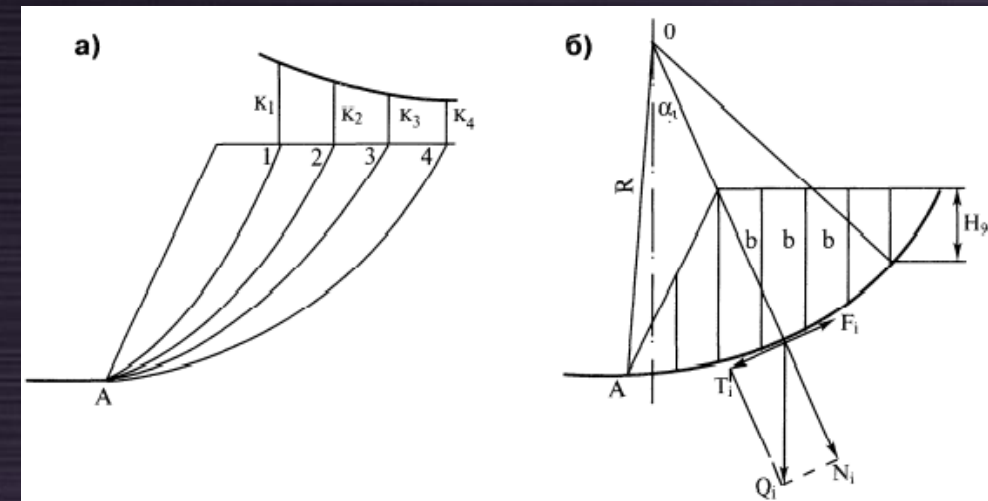
Розрахункова схема для визначення положення екстремальної поверхні здвиження

- **К. Терцаги** вперше був запропонований так званий графоаналітичний метод, суть якого полягає в припущенні, що поверхня зрушення є кругло-циліндричною.
- Сутність методу. На розрізі відкосу, який викреслюється у визначеному масштабі, наноситься ряд можливих циліндричних поверхонь ковзання (рис. а), кожна з яких забезпечує визначений, поки невідомий, коефіцієнт запасу міцності k_i . Довжина можливих поверхонь ковзання вздовж фронту робіт приймається рівною одиниці. Кожна з призм ковзання розбивається на вертикальні відсіки однакової ширини b (рис. б). Взаємодія між відсіками відсутня.
- Вага кожного з відсіків Q_i розкладається на складові:

$$T_i = Q_i \sin \alpha \quad \text{і} \quad N_i = Q_i \cos \alpha.$$

Графоаналітичний метод К.Терцаги дає позитивні результати для порівняно однорідних і необводнених порід

Методи розрахунку відкосів, засновані на гіпотезі криволінійної поверхні здвигання



Схеми для розрахунку стійкості відкосів за К. Терцаги

- До профілактичних заходів варто віднести:
 - а) ретельне вивчення геологічних і гідрологічних умов залягання гірських порід, їхньої міцності, структурних і інших особливостей ділянки родовища;
 - б) максимально повний облік умов залягання, властивостей порід і особливостей родовища при розрахунку стійкості бортів кар'єрів і складанні проекту гірських робіт;
 - в) чітке здійснення проекту в натурі, особливо частини запроектованих параметрів кар'єру (кутів відкосу бортів і уступів);
 - г) якісне і своєчасне виконання дренажних робіт, у тому числі глибинного дренажу порід, що складають відкоси, дренажу земної поверхні у межах кар'єра і поверхні його бортів;
 - д) організацію систематичних маркшейдерських і гідрогеологічних спостережень, регулярний відбір проб та їх дослідження, уточнення місцезнаходження структурних поверхонь послаблення масиву, аналіз отриманих даних і оперативне коректування прийнятих у проекті параметрів кар'єру, технології і порядку ведення гірських робіт.

Протизсувні заходи на кар'єрах

- Провідну роль у боротьбі із зсувами варто відвести профілактичним заходам, тому що запобігти зсуву значно легше, безпечніше і дешевше, ніж боротися з ним, коли він виникне.
- При виконанні зазначених заходів, як правило, вдається запобігти зсувам чи звести до мінімуму їхні шкідливі наслідки.
- Для боротьби зі зсувами запропоновані різноманітні механічні і хімічні способи закріплення земляних мас, способи їх заморожування і цементації.

Протизсувні заходи на кар'єрах

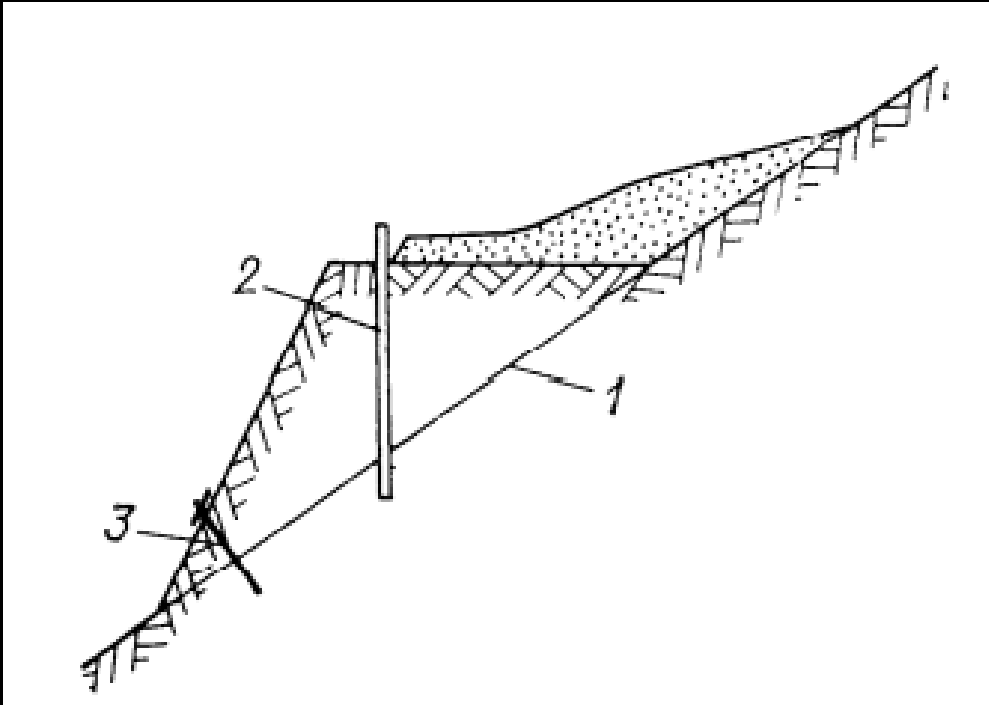
- Для забезпечення стійкості відкосів на кар'єрах, складених скельними і напівскельними породами, застосовують:
- а) відповідну технологію ведення буровибухових робіт у приконтурних зонах (мікроуповільнене висадження свердловин у блоці);
- б) штучне зміцнення послаблених ділянок. Основним джерелом обводнювання розроблюваних корисних копалин і порід розкриву в багатьох випадках є атмосферні опади. Для забезпечення стоку води із земної поверхні роблять планування поверхні, додаючи їй похил у бік дренажних каналів, що захищають кар'єр від дощових вод. Для стоку дощових і талих вод із площадки уступів проводять поздовжні і поперечні каналки, а площадці уступу надають відповідний похил (не менше 5%).
- Глибинний дренаж захищає відкоси від великих зсувів, що виникають при похилому заляганні слабких та середньої міцності порід.
- Відкритий дренаж застосовують: при розкритті родовищ, складених слабкими породами, якщо товща водоносних порід являє собою один водоносний горизонт або якщо водоносний горизонт залягає в підшві розроблювального шару корисної копалини; при дренаванні слабообводнених горизонтально залягаючих водоносних горизонтів і міцних тріщинуватих порід.

Протизсувні заходи на кар'єрах

- **Штучне зміцнення відкосів** уступів, складених скельними і напівскельними породами, застосовують звичайно в тих випадках, коли треба втримати від сповзання чи обвалення окремі ділянки відкосів уступу, послаблені інтенсивною тріщинуватістю, несприятливо розташованими тріщинами, слабкими контактами між шарами порід і ін.
 - Зміцнення здійснюють шляхом механічного утримання призми обвалення за допомогою штангового кріплення, шпунтів, залізобетонних паль і гнучких тросових тяжей, шляхом ін'єкцій у масив зміцнювальних розчинів (переважно цементної сполуки), шляхом ізоляції порід, схильних до інтенсивного вивітрювання, або дефляції, за допомогою стійких покриттів (набризкбетону, бітуму, епоксидних та інших смол).
 - Іноді для зміцнення призми обвалення застосовують підпірні, захисні стінки.
- При зміцненні відкосу **штанговим кріпленням** для запобігання від випадання блоків тріщинуватих порід і поліпшення спільної роботи штанг під шайби голівок штанг підкладають швелери чи залізобетонні диски, а штангам дають натяг, що підсилює тертя на поверхнях послаблення

Протизсувні заходи на кар'єрах

- Механічні способи зміцнення слабких ділянок відкосів часто застосовують у комплексі. На рис. приведена схема зміцнення берми штангами і залізобетонними палями на ділянці слабого контакту, по якому можливе сповзання.
- Для боротьби зі зсувами в кар'єрах застосовують і такі способи, як зняття навантаження з відкосу, залишення ціликів і ін.



Берма відкосу, укріплена штангою та залізобетонним зв'язком:

1 – слабкий контакт, по якому можливе сповзання;

2 – залізобетонний зв'язок;

3 – штанга.