

Тема 19. Виявлення тектонічних порушень

1. Ознаки тектонічних порушень

Наявність зсунутих елементів пласта, різкі зміни товщини шару

Основні ознаки наявності тектонічних порушень на родовищі включають:

- Різке переривання простягання пласта - раптова зміна положення пласта або повне його зникнення при простеженні у гірничих виробках або за даними буріння.
- Зміна елементів залягання пласта - різка зміна кута падіння або азимута простягання пласта на невеликій відстані.
- Стрибкоподібна зміна потужності пласта - різке збільшення або зменшення потужності шару по лінії порушення.
- Зміна літологічного складу - раптова зміна складу або текстурно-структурних особливостей порід в межах одного стратиграфічного горизонту.
- Поява зон дроблення і тріщинуватості - ділянки інтенсивно роздроблених порід, часто заповнені глинистим або уламковим матеріалом (тектонічною брекчією).
- Дзеркала ковзання - відполіровані поверхні зі штрихами ковзання, що вказують на напрямок переміщення блоків.
- Зміна якісних характеристик корисної копалини - різка зміна вмісту корисних компонентів, структури або інших якісних показників корисної копалини.
- Порушення послідовності стратиграфічних горизонтів - випадіння окремих горизонтів з розрізу або їх повторення.

Аномалії в геологічних розрізах і картограмах фізичних полів

Геофізичні методи дозволяють виявляти тектонічні порушення за характерними аномаліями:

- Магнітні аномалії:
 - Лінійні градієнтні зони в магнітному полі, що відповідають зонам тектонічних порушень
 - Зміщення магнітних аномалій відносно один одного
 - Різка зміна інтенсивності магнітного поля вздовж лінії порушення

- Гравітаційні аномалії:
 - Ступенеподібні зміни гравітаційного поля
 - Градієнтні зони, що відповідають контактам блоків різної щільності
 - Локальні мінімуми над зонами дроблення порід
- Електричні аномалії:
 - Зони зниженого опору, що відповідають обводненим зонам порушень
 - Контрастні границі електричних властивостей, які вказують на контакти різних блоків
- Сейсмічні ознаки:
 - Зміщення відбиваючих горизонтів на сейсмічних профілях
 - Зони відсутності когерентних відбиттів (сейсмічної «тіні»)
 - Дифракційні хвилі від ліній розривних порушень
 - Зміна швидкості сейсмічних хвиль в зонах дроблення
- Аномалії в геохімічних полях:
 - Лінійні зони підвищеної концентрації рудних елементів
 - Гідрохімічні аномалії вздовж зон тектонічних порушень

2. Виявлення зон тектонічних порушень способом плоских вертикальних перерізів

Методика складання вертикальних перерізів через родовище

Метод вертикальних перерізів є одним з основних способів виявлення та геометризації тектонічних порушень:

- Вибір напрямку перерізів:
 - Перерізи орієнтуються перпендикулярно до простягання основних структурних елементів родовища
 - При складній будові родовища перерізи будуються в декількох напрямках (паралельні та перехресні серії)
 - Відстань між перерізами визначається складністю геологічної будови та щільністю розвідувальної мережі
- Збір вихідних даних:

- Дані буріння розвідувальних свердловин (стратиграфічні колонки, каротажні діаграми)
- Результати геофізичних досліджень вздовж профілів
- Матеріали документації гірничих виробок
- Результати опробування та випробування
- Побудова перерізів:
 - Вибір вертикального та горизонтального масштабів (зазвичай однакових)
 - Нанесення топографічного профілю поверхні
 - Проектування на лінію перерізу розвідувальних свердловин та гірничих виробок
 - Відображення стратиграфічних границь та літологічних різновидів порід
 - Побудова ліній маркуючих горизонтів та пластів корисних копалин
- Аналіз системи перерізів:
 - Побудова серії паралельних перерізів через рівні інтервали
 - Співставлення сусідніх перерізів для виявлення закономірностей зміни структури
 - Побудова перехресних перерізів для тривимірного аналізу структури родовища

Аналіз зміщення нашарувань на перерізах

При аналізі вертикальних перерізів тектонічні порушення виявляються за такими ознаками:

- Зміщення маркуючих горизонтів - різке вертикальне або горизонтальне зміщення лінії одного і того ж горизонту на перерізі.
- Зникнення або повторення частини розрізу - випадіння окремих стратиграфічних одиниць або їх дублювання вздовж лінії перерізу.
- Зміна кутів падіння - різка зміна нахилу пластів по різні боки від передбачуваного порушення.
- Незбіг потужностей - різка зміна потужності одновікових відкладів в сусідніх блоках.

- Наявність зон дроблення - відображення на перерізі зон підвищеної тріщинуватості та дроблення.
- Клиноподібне завершення пластів - характерне для зон насувів та підкидів.

3. Графічний і графоаналітичний способи виявлення розривних порушень

Графічні прийоми

Графічні прийоми виявлення розривних порушень включають:

- Метод суміщення планів - порівняння планів різних горизонтів родовища для виявлення зміщень маркуючих елементів:
 - Накладання планів декількох горизонтів з використанням прозорих матеріалів
 - Виявлення зон неспівпадіння однойменних геологічних границь
 - Визначення напрямку та величини зміщення структурних елементів
- Аналіз карт потужностей і якості - порівняння карт ізопакіт (ліній рівних потужностей) та ізоконцентрат корисних компонентів:
 - Виявлення ліній різкої зміни потужності пласта
 - Визначення зон різкої зміни якісних характеристик корисної копалини
 - Виділення аномальних ділянок, що не пояснюються фаціальною мінливістю
- Метод структурних карт - аналіз морфології поверхонь пластів корисних копалин або маркуючих горизонтів:
 - Побудова структурних карт покрівлі та подошви пласта
 - Виявлення ліній різкої зміни гіпсометричного положення поверхні
 - Визначення градієнтних зон на структурних картах
- Метод ізоліній - виявлення зон аномальної поведінки різних параметрів:
 - Аналіз поведінки ізогіпс, ізопакіт, ізоконцентрат
 - Виділення лінійних зон згущення ізоліній
 - Визначення ліній розриву або зміщення ізоліній

Графоаналітичні способи

Графоаналітичні методи виявлення розривних порушень поєднують графічні побудови з математичними розрахунками:

- Метод координат - визначення положення порушення за координатами точок перетину маркуючих горизонтів з розвідувальними свердловинами:
 - Розрахунок просторових координат точок перетину маркуючого горизонту зі свердловинами
 - Аналіз розподілу відміток горизонту в просторі
 - Виявлення стрибкоподібної зміни відміток одного і того ж горизонту в сусідніх свердловинах
- Метод стратоізогіпс - побудова ліній рівних відміток поверхні пласта та аналіз їх конфігурації:
 - Побудова карти стратоізогіпс за даними свердловин і гірничих виробок
 - Виявлення зон різкої зміни густоти або напрямку стратоізогіпс
 - Розрахунок градієнтів зміни гіпсометрії пласта
- Метод триангуляції - розбиття площі родовища на мережу трикутників з вершинами в точках спостереження:
 - Побудова мережі трикутників між точками спостереження
 - Розрахунок градієнтів зміни досліджуваного параметра в межах кожного трикутника
 - Виявлення аномально високих градієнтів, що можуть вказувати на наявність порушення
- Побудова діаграм зміщення - спеціальні графічні побудови для визначення елементів залягання зміщувача та амплітуди переміщення:
 - Стереографічні проекції (сітка Вульфа) для аналізу орієнтування розривних порушень
 - Векторні діаграми для визначення напрямку та величини зміщення блоків
 - Графічне визначення повної амплітуди зміщення за її складовими
- Метод статистичного аналізу - виявлення закономірностей в розподілі параметрів пласта:

- Побудова гістограм розподілу значень параметрів
- Виявлення бімодальних розподілів, що можуть вказувати на наявність двох різних блоків
- Кореляційний аналіз для виявлення аномальних зв'язків між параметрами, характерних для зон порушень

Поєднання різних методів виявлення тектонічних порушень дозволяє створити найбільш повну і достовірну картину тектонічної будови родовища, що є основою для раціонального проектування та ведення гірничих робіт.

Тема 20. Гірничо-геометричні розрахунки в процесі проектування виробок

1. Загальні відомості

Мета гірничо-геометричних розрахунків

Гірничо-геометричні розрахунки у процесі проектування виробок спрямовані на:

- Оптимізацію траси виробки — визначення найбільш раціонального просторового положення виробки з урахуванням геологічних, гірничотехнічних і економічних факторів.
- Визначення безпечних габаритів виробок — розрахунок оптимальних розмірів поперечного перерізу з урахуванням призначення виробки, типу транспортного обладнання, вентиляційних вимог та міцнісних характеристик гірських порід.
- Розрахунок ухилів виробок — визначення оптимальних кутів нахилу для забезпечення ефективного транспортування корисних копалин, водовідливу та вентиляції.
- Мінімізацію обсягів прохідницьких робіт — вибір такого положення виробки, яке забезпечить мінімальні витрати на проходку при збереженні необхідних експлуатаційних параметрів.
- Забезпечення стійкості виробок — вибір оптимального напрямку проходки з урахуванням напруженого стану масиву та системи тріщинуватості порід.
- Підвищення безпеки ведення гірничих робіт — прогнозування та запобігання можливим геологічним ускладненням (вивалам, затопленню, прориву газів тощо).

Інженерно-геометричне обґрунтування проектних рішень

Інженерно-геометричне обґрунтування проектних рішень включає:

- Геометричний аналіз геологічної будови родовища:
 - Побудова структурних карт покрівлі та подошви пластів
 - Складання геологічних розрізів по осях проєктованих виробок
 - Аналіз поверхонь тектонічних порушень
- Визначення точок перетину виробок з пластами та тектонічними порушеннями:
 - Розрахунок координат точок перетину

- Визначення відстаней між характерними точками вздовж осі виробки
- Обчислення кутів перетину виробки з пластами і порушеннями
- Побудова профілю виробки:
 - Відображення залягання пластів і порід вздовж осі виробки
 - Визначення інтервалів проходки по різних породах
 - Розрахунок ухилів на різних ділянках
- Визначення категорій складності проходки:
 - Аналіз міцності порід вздовж траси виробки
 - Прогнозування стійкості порід в покрівлі та стінках виробки
 - Оцінка водоприпливів та газовиділення
- Оптимізація положення виробки:
 - Багатоваріантне моделювання траси виробки
 - Техніко-економічне порівняння варіантів
 - Вибір оптимального рішення за мінімумом витрат на проходку та експлуатацію

2. Задання та проектування січних виробок на пласт

Методика прокладки виробки через декілька шарів (пластів)

Проектування січних виробок, що перетинають декілька геологічних шарів або пластів, включає:

- Визначення вихідної інформації:
 - Просторові координати залягання пластів (кути падіння та простягання)
 - Потужність та фізико-механічні властивості пластів і міжпластових порід
 - Положення стартової та кінцевої точок виробки
 - Технологічні обмеження (допустимі ухили, радіуси кривизни)
- Аналітичні розрахунки точок перетину:
 - Представлення пластів у вигляді площин в тривимірному просторі

- Представлення осі виробки у вигляді прямої або ламаної лінії
- Розрахунок координат точок перетину осі виробки з площинами пластів
- Визначення довжин окремих ділянок виробки
- Графоаналітичні методи проектування:
 - Побудова вертикальних розрізів вздовж траси виробки
 - Визначення графічним шляхом точок перетину з пластами
 - Коригування положення виробки для оптимізації кутів перетину
 - Побудова профілю виробки з відображенням всіх перетинів
- Оцінка технологічності перетину:
 - Розрахунок кутів перетину виробки з пластами (оптимальні кути 70-90°)
 - Визначення довжини ділянок проходки по різних породах
 - Прогнозування можливих ускладнень при перетині водонасичених або газоносних пластів
 - Розробка спеціальних заходів для безпечного перетину нестійких або викиднебезпечних зон

Врахування кута падіння шару, поширеності тріщин, наявності розривів

При проектуванні січних виробок необхідно враховувати:

- Кут падіння пластів:
 - При крутому падінні пластів доцільно орієнтувати виробку ближче до напрямку простягання
 - При пологому заляганні перетин краще здійснювати перпендикулярно до лінії простягання
 - Необхідно уникати проходки виробок по напрямку падіння пластів через ризик сповзання порід по площинах нашарування
- Системи тріщинуватості:
 - Виробки слід орієнтувати перпендикулярно до головної системи тріщин
 - При наявності декількох систем тріщин необхідно обирати напрямок, що забезпечує максимальну стійкість виробки

- Врахування впливу тріщинуватості на форму та розміри поперечного перерізу виробки
- Наявність розривних порушень:
 - Розривні порушення слід перетинати під максимально можливим кутом (близьким до 90°)
 - При перетині великих порушень необхідно передбачати спеціальні конструкції кріплення
 - Необхідно передбачати резервні обсяги проходки для подолання зон дроблення
 - Слід уникати проходки виробок в площині зміщувача або близько до нього
- Фізико-механічні властивості порід:
 - Врахування різної міцності порід при виборі напрямку проходки
 - Прогнозування зон підвищеного гірського тиску
 - Оцінка стійкості виробки при різних варіантах її орієнтування

3. Похилі, вертикальні та горизонтальні гірничі виробки

Особливості розрахунків для кожного типу виробки

Вертикальні виробки (стволи, гезенки, шурфи):

- Геометричні особливості:
 - Зазвичай проектуються по найкоротшій відстані до цільового горизонту
 - Перетинають породи різного складу та міцності під прямим кутом до напластування
 - Мають постійний нахил 90° до горизонту
- Особливості розрахунків:
 - Визначення координат осі ствола у плані (положення на поверхні та на цільовому горизонті)
 - Розрахунок глибини ствола та відміток точок перетину з пластами
 - Прогнозування зон підвищеного водопритливу та газовиділення
 - Розрахунок допустимих відхилень осі ствола від вертикалі при проходці

- Маркшейдерські вимірювання:
 - Вертикальна орієнтація з використанням висків і лазерних систем
 - Контроль вертикальності за допомогою гіроскопічних приладів
 - Періодичні зйомки для визначення фактичної конфігурації ствола

Горизонтальні виробки (штреки, квершлагги, штольні):

- Геометричні особливості:
 - Проектуються з нульовим або мінімальним ухилом (до $0,5^\circ$)
 - Часто слідують контурам пласта або проходяться по простяганню
 - Можуть мати складну конфігурацію у плані для обходу перешкод
- Особливості розрахунків:
 - Проектування траси виробки у плані з визначенням азимутів і довжин прямолінійних ділянок
 - Розрахунок малих ухилів для водовідливу (0,003-0,005)
 - Визначення точок перетину з геологічними порушеннями
 - Розрахунок радіусів заокруглення на поворотах
- Маркшейдерські вимірювання:
 - Визначення положення осі виробки за допомогою теодолітних ходів
 - Контроль напрямку проходки за допомогою лазерних візирів
 - Нівелювання для контролю дотримання проектних ухилів

Похилі виробки (уклони, бремсберги, похилі стволи):

- Геометричні особливості:
 - Проектуються під кутом до горизонту (зазвичай від 5° до 45°)
 - Можуть слідувати за падінням пласта або перетинати геологічні структури під кутом
 - Часто мають змінний ухил для адаптації до геологічних умов
- Особливості розрахунків:
 - Визначення оптимального кута нахилу з урахуванням типу транспортного обладнання

- Проектування профілю виробки з урахуванням допустимих змін ухилу
- Розрахунок координат характерних точок у плані і профілі
- Визначення кривих сполучення горизонтальних і похилих ділянок
- Маркшейдерські вимірювання:
 - Використання теодолітно-нівелірних ходів для визначення положення осі
 - Спеціальні методи знімання для виробок з великими кутами нахилу
 - Контроль дотримання проектного ухилу на всіх ділянках

Проектування складних виробок

Шахтні стволи:

- Конструктивні особливості:
 - Проектування з урахуванням розміщення підйомних установок, трубопроводів, кабелів
 - Визначення форми та розмірів поперечного перерізу (круглі, прямокутні)
 - Проектування армування та розташування відділень (підйомне, сходове, трубне)
- Геометричні розрахунки:
 - Визначення оптимальної глибини з урахуванням гіпсометрії пластів
 - Розрахунок положення сполучень з горизонтальними виробками
 - Проектування водозбірників та зумпфу

Квершлаги:

- Конструктивні особливості:
 - Проектуються перпендикулярно до простягання пластів
 - Перетинають пласти та міжпластові породи під різними кутами
 - Служать для розкриття декількох пластів з одного ствола
- Геометричні розрахунки:

- Визначення оптимального розташування для мінімізації довжини
- Розрахунок точок перетину з пластами та тектонічними порушеннями
- Проектування сполучень зі стволом та штреками

Штреки:

- Конструктивні особливості:
 - Проходяться по простяганню пласта
 - Мають невеликий ухил для водовідливу
 - Можуть слідувати вигинам пласта
- Геометричні розрахунки:
 - Визначення положення штреку відносно пласта (покрівля, підошва, середина)
 - Розрахунок загальної довжини з урахуванням криволінійності пласта
 - Проектування сполучень з іншими виробками

Штольні:

- Конструктивні особливості:
 - Горизонтальні або слабконахилені виробки, що виходять на земну поверхню
 - Проходяться в гірських районах для розкриття пластів у схилах
- Геометричні розрахунки:
 - Визначення оптимального рівня закладення з урахуванням рельєфу
 - Розрахунок найкоротшої траси до цільових пластів
 - Проектування ухилів для природного водовідливу

Уклони і бремсберги:

- Конструктивні особливості:
 - Уклони проходяться згори вниз за падінням пласта
 - Бремсберги проходяться знизу вгору проти падіння пласта
 - Використовуються для транспортування корисних копалин

- Геометричні розрахунки:
 - Визначення оптимального ухилу ($8-16^\circ$ для конвеєрного транспорту, до 30° для рейкового)
 - Проектування площадок через кожні 8-10 метрів перепаду висот
 - Розрахунок об'ємів гірничо-капітальних робіт

Геометризація гірничих виробок є важливим елементом проектування гірничих підприємств, який забезпечує оптимальне розкриття та підготовку родовища до експлуатації з урахуванням всіх геологічних, технічних та економічних факторів.

Тема 21. Геометризація тріщинуватості масиву гірських порід

1. Класифікація тріщин

Тріщини деструкції, тектонічні тріщини, усадочні тріщини, термофізичні тощо

За генезисом (походженням) тріщини поділяються на:

- Тектонічні тріщини — виникають внаслідок дії тектонічних сил (стиснення, розтягування, зсуву) на масив гірських порід. Вони формують закономірні системи тріщин, пов'язані з основними тектонічними структурами регіону. Характеризуються значною протяжністю, закономірною орієнтацією в просторі та часто утворюють кілька систем з різними напрямками.
- Нетектонічні тріщини — виникають без впливу тектонічних сил:
 - Тріщини вивітрювання (деструкції) — утворюються під впливом фізичного вивітрювання (коливання температури, замерзання води, кристалізація солей). Зазвичай розташовані паралельно до поверхні оголення порід і зменшуються з глибиною.
 - Усадочні тріщини — формуються при зменшенні об'єму породи в процесі її утворення (кристалізація магми, висихання осадових порід). Типовим прикладом є стовпчаста окремість базальтів.
 - Літогенетичні тріщини — виникають у процесі діагенезу та літифікації осадових порід. Часто формують характерні системи, пов'язані з процесами ущільнення.
 - Термофізичні тріщини — утворюються внаслідок термічних напружень, що виникають при нагріванні або охолодженні порід. Особливо характерні для приконтактних зон інтрузивних тіл.
 - Гравітаційні тріщини — формуються під дією гравітації на схилах, бортах кар'єрів, стінках підземних виробок. Орієнтуються паралельно до вільної поверхні.
- Техногенні тріщини — виникають внаслідок антропогенного впливу:
 - Вибухові тріщини — утворюються при проведенні буропідливних робіт.
 - Тріщини розвантаження — виникають при розкритті масиву гірничими виробками.

- Гідродинамічні тріщини — формуються при гідророзриві пласта або іншому гідравлічному впливі.

Розподіл тріщин залежно від величини, орієнтації, походження

За величиною (масштабом) тріщини поділяються на:

- Мікротріщини — розміром менше 1 мм, видимі лише під мікроскопом.
- Макротріщини — розміром від 1 мм до декількох сантиметрів, видимі неозброєним оком.
- Тріщини середніх розмірів — протяжністю від десятків сантиметрів до декількох метрів.
- Великі тріщини — протяжністю від декількох метрів до десятків метрів.
- Розломи — великі тріщини протяжністю від сотень метрів до кілометрів, часто супроводжуються зміщенням блоків порід.

За орієнтацією відносно елементів залягання гірських порід:

- Згідні (пластові) тріщини — орієнтовані паралельно нашаруванню порід.
- Поперечні тріщини — орієнтовані перпендикулярно до простягання пласта.
- Поздовжні тріщини — орієнтовані паралельно до простягання пласта і перпендикулярно до його падіння.
- Діагональні тріщини — розташовані під кутом до простягання і падіння пласта.

За просторовою орієнтацією:

- Горизонтальні тріщини — з кутом падіння $0-5^\circ$.
- Пологі тріщини — з кутом падіння $5-30^\circ$.
- Похилі тріщини — з кутом падіння $30-60^\circ$.
- Круті тріщини — з кутом падіння $60-90^\circ$.

За характером заповнення:

- Відкриті тріщини — без заповнення або з частковим заповненням.
- Закриті тріщини — повністю заповнені вторинними мінералами (кальцит, кварц, глинисті мінерали тощо).

- Зцементовані тріщини — заповнені матеріалом, що міцно зв'язує стінки тріщини.

За механізмом утворення:

- Тріщини відриву — виникають при розтягуванні порід і характеризуються рухом стінок перпендикулярно до площини тріщини.
- Тріщини зсуву (сколювання) — виникають при зсувних деформаціях і характеризуються рухом стінок уздовж площини тріщини.
- Тріщини стиснення — виникають при об'ємному стисненні порід.

2. Параметри тріщинуватості

Густота, відстань між тріщинами, розкриття (ширина тріщини), заповнення

Густота тріщин — характеризує інтенсивність тріщинуватості масиву і визначається кількістю тріщин на одиницю довжини або площі:

- Лінійна густина — кількість тріщин, що перетинають одиницю довжини лінії вимірювання (шт/м).
- Площинна густина — кількість тріщин на одиницю площі оголення породи (шт/м²).
- Об'ємна густина — кількість тріщин в одиниці об'єму породи (шт/м³).

Відстань між тріщинами — середня відстань між сусідніми тріщинами однієї системи. За відстанню між тріщинами породи класифікують на:

- Вельми дрібноблочні — відстань менше 0,1 м.
- Дрібноблочні — відстань 0,1-0,5 м.
- Середньоблочні — відстань 0,5-1,0 м.
- Крупноблочні — відстань 1,0-1,5 м.
- Вельми крупноблочні — відстань більше 1,5 м.

Розкриття (ширина) тріщини — відстань між стінками тріщини, виміряна перпендикулярно до них. За шириною тріщини поділяють на:

- Мікротріщини — ширина менше 0,1 мм.
- Дуже вузькі — ширина 0,1-1,0 мм.
- Вузькі — ширина 1-5 мм.
- Середні — ширина 5-20 мм.
- Широки — ширина 20-100 мм.

- Дуже широкі — ширина більше 100 мм.

Заповнення тріщин — характер матеріалу, що заповнює простір між стінками тріщини:

- Мінеральне заповнення — тріщини заповнені кварцом, кальцитом, гіпсом, піритом та іншими мінералами.
- Глинисте заповнення — тріщини заповнені глинистим матеріалом різного складу.
- Уламкове заповнення — тріщини заповнені уламками вміщуючих порід (брекчія).
- Рудне заповнення — тріщини заповнені рудними мінералами.
- Змішане заповнення — тріщини заповнені комбінацією різних матеріалів.

Шорсткість поверхні тріщин — характеризує ступінь нерівності поверхонь тріщин:

- Гладкі — без видимих нерівностей.
- Шорсткі — з дрібними нерівностями.
- Ступінчасті — з чергуванням уступів.
- Хвилясті — з хвилеподібною поверхнею.

Протяжність тріщин — характеризує довжину тріщин у масиві:

- Короткі — протяжність до 1 м.
- Середньої довжини — протяжність 1-10 м.
- Довгі — протяжність 10-100 м.
- Дуже довгі — протяжність більше 100 м.

Ухил і простягання систем тріщин, взаємне розташування та перехресні зв'язки

Ухил (кут падіння) тріщин — кут між горизонтальною площиною та площиною тріщини. Вимірюється гірничим компасом або іншими спеціальними приладами.

Простягання тріщин — лінія перетину площини тріщини з горизонтальною площиною. Характеризується азимутом простягання — кутом між напрямком на північ та лінією простягання, який вимірюється за годинниковою стрілкою.

Системи тріщин — сукупність тріщин зі схожими елементами залягання (кутом падіння та простяганням). У масиві гірських порід зазвичай виявляється 2-4 основні системи тріщин, які формують характерну блокову структуру.

Взаємне розташування систем тріщин — характеризує геометричні взаємовідносини між різними системами тріщин. Основними типами взаємодії є:

- Перпендикулярне розташування — системи тріщин перетинаються під кутом, близьким до 90° .
- Гострокутне розташування — системи тріщин перетинаються під гострим кутом.
- Тупокутне розташування — системи тріщин перетинаються під тупим кутом.
- Паралельне розташування — системи тріщин орієнтовані паралельно одна одній.

Перехресні зв'язки між тріщинами — характеризують тип сполучення тріщин різних систем:

- Т-подібні зв'язки — одна тріщина впирається в іншу під прямим кутом.
- Х-подібні зв'язки — дві тріщини перетинаються, утворюючи хрестоподібну фігуру.
- Y-подібні зв'язки — тріщина розгалужується на дві.
- Сітчасті зв'язки — багатократне перетинання тріщин різних систем з утворенням мережі.

Блочність масиву — характеризує розмір і форму блоків, на які масив поділений системами тріщин:

- Форма блоків — кубічна, призматична, плитчаста, клиноподібна тощо.
- Розмір блоків — характеризується середнім об'ємом або лінійними розмірами.
- Коефіцієнт блочності — відношення об'єму монолітних блоків до загального об'єму масиву.

3. Проведення спостережень за тріщинуватістю

Польові методи: опис і вимірювання напрямків тріщин, фотографування, керн зі свердловин

Методи вивчення тріщинуватості в природних оголеннях:

- Метод площадок — на оголенні вибирається характерна ділянка (площадка), на якій вимірюються параметри всіх тріщин.
- Метод перетинів (лінійний) — вимірюються параметри тріщин, що перетинають випадково вибрану пряму лінію на оголенні.
- Метод погоризонтних зйомок — вивчення тріщинуватості за горизонтами (поверхами) на схилах або в багатоярусних кар'єрах.

Вимірювання елементів залягання тріщин:

- Вимірювання гірничим компасом — традиційний метод визначення кута падіння та азимута простягання тріщин.
- Використання структурних лінійок та кутомірів — спеціальні прилади для вимірювання елементів залягання.
- Використання цифрових пристроїв — електронні компаси, інклінометри, тривимірні сканери.

Опис характеристик тріщин:

- Форма та протяжність — визначення геометричної форми та довжини тріщин.
- Ширина розкриття — вимірювання відстані між стінками тріщини за допомогою щупів, лінійок або мікроскопічних методів.

Тема 21. Геометризація тріщинуватості масиву гірських порід

1. Класифікація тріщин

Тріщини деструкції, тектонічні тріщини, усадочні тріщини, термофізичні тощо

За генезисом (походженням) тріщини поділяються на:

- Тектонічні тріщини — виникають внаслідок дії тектонічних сил (стиснення, розтягування, зсуву) на масив гірських порід. Вони формують закономірні системи тріщин, пов'язані з основними тектонічними структурами регіону. Характеризуються значною протяжністю, закономірною орієнтацією в просторі та часто утворюють кілька систем з різними напрямками.
- Нетектонічні тріщини — виникають без впливу тектонічних сил:
 - Тріщини вивітрювання (деструкції) — утворюються під впливом фізичного вивітрювання (коливання температури, замерзання води, кристалізація солей). Зазвичай розташовані паралельно до поверхні оголення порід і зменшуються з глибиною.

- Усадочні тріщини — формуються при зменшенні об'єму породи в процесі її утворення (кристалізація магми, висихання осадових порід). Типовим прикладом є стовпчаста окремість базальтів.
- Літогенетичні тріщини — виникають у процесі діагенезу та літифікації осадових порід. Часто формують характерні системи, пов'язані з процесами ущільнення.
- Термофізичні тріщини — утворюються внаслідок термічних напружень, що виникають при нагріванні або охолодженні порід. Особливо характерні для приконтартових зон інтрузивних тіл.
- Гравітаційні тріщини — формуються під дією гравітації на схилах, бортах кар'єрів, стінках підземних виробок. Орієнтуються паралельно до вільної поверхні.
- Техногенні тріщини — виникають внаслідок антропогенного впливу:
 - Вибухові тріщини — утворюються при проведенні буропідривних робіт.
 - Тріщини розвантаження — виникають при розкритті масиву гірничими виробками.
 - Гідродинамічні тріщини — формуються при гідророзриві пласта або іншому гідравлічному впливі.

Розподіл тріщин залежно від величини, орієнтації, походження

За величиною (масштабом) тріщини поділяються на:

- Мікротріщини — розміром менше 1 мм, видимі лише під мікроскопом.
- Макротріщини — розміром від 1 мм до декількох сантиметрів, видимі неозброєним оком.
- Тріщини середніх розмірів — протяжністю від десятків сантиметрів до декількох метрів.
- Великі тріщини — протяжністю від декількох метрів до десятків метрів.
- Розломи — великі тріщини протяжністю від сотень метрів до кілометрів, часто супроводжуються зміщенням блоків порід.

За орієнтацією відносно елементів залягання гірських порід:

- Згідні (пластові) тріщини — орієнтовані паралельно нашаруванню порід.

- Поперечні тріщини — орієнтовані перпендикулярно до простягання пласта.
- Поздовжні тріщини — орієнтовані паралельно до простягання пласта і перпендикулярно до його падіння.
- Діагональні тріщини — розташовані під кутом до простягання і падіння пласта.

За просторовою орієнтацією:

- Горизонтальні тріщини — з кутом падіння $0-5^\circ$.
- Пологі тріщини — з кутом падіння $5-30^\circ$.
- Похилі тріщини — з кутом падіння $30-60^\circ$.
- Круті тріщини — з кутом падіння $60-90^\circ$.

За характером заповнення:

- Відкриті тріщини — без заповнення або з частковим заповненням.
- Закриті тріщини — повністю заповнені вторинними мінералами (кальцит, кварц, глинисті мінерали тощо).
- Цементовані тріщини — заповнені матеріалом, що міцно зв'язує стінки тріщини.

За механізмом утворення:

- Тріщини відриву — виникають при розтягуванні порід і характеризуються рухом стінок перпендикулярно до площини тріщини.
- Тріщини зсуву (сколювання) — виникають при зсувних деформаціях і характеризуються рухом стінок уздовж площини тріщини.
- Тріщини стиснення — виникають при об'ємному стисненні порід.

2. Параметри тріщинуватості

Густота, відстань між тріщинами, розкриття (ширина тріщини), заповнення

Густота тріщин — характеризує інтенсивність тріщинуватості масиву і визначається кількістю тріщин на одиницю довжини або площі:

- Лінійна густина — кількість тріщин, що перетинають одиницю довжини лінії вимірювання (шт/м).
- Площинна густина — кількість тріщин на одиницю площі оголення породи (шт/м²).
- Об'ємна густина — кількість тріщин в одиниці об'єму породи (шт/м³).

Відстань між тріщинами — середня відстань між сусідніми тріщинами однієї системи. За відстанню між тріщинами породи класифікують на:

- Вельми дрібноблочні — відстань менше 0,1 м.
- Дрібноблочні — відстань 0,1-0,5 м.
- Середньоблочні — відстань 0,5-1,0 м.
- Крупноблочні — відстань 1,0-1,5 м.
- Вельми крупноблочні — відстань більше 1,5 м.

Розкриття (ширина) тріщини — відстань між стінками тріщини, виміряна перпендикулярно до них. За шириною тріщини поділяють на:

- Мікротріщини — ширина менше 0,1 мм.
- Дуже вузькі — ширина 0,1-1,0 мм.
- Вузькі — ширина 1-5 мм.
- Середні — ширина 5-20 мм.
- Широкі — ширина 20-100 мм.
- Дуже широкі — ширина більше 100 мм.

Заповнення тріщин — характер матеріалу, що заповнює простір між стінками тріщини:

- Мінеральне заповнення — тріщини заповнені кварцом, кальцитом, гіпсом, піритом та іншими мінералами.
- Глинисте заповнення — тріщини заповнені глинистим матеріалом різного складу.
- Уламкове заповнення — тріщини заповнені уламками вміщуючих порід (брекчія).
- Рудне заповнення — тріщини заповнені рудними мінералами.
- Змішане заповнення — тріщини заповнені комбінацією різних матеріалів.

Шорсткість поверхні тріщин — характеризує ступінь нерівності поверхонь тріщин:

- Гладкі — без видимих нерівностей.
- Шорсткі — з дрібними нерівностями.
- Ступінчасті — з чергуванням уступів.

- Хвилясті — з хвилеподібною поверхнею.

Протяжність тріщин — характеризує довжину тріщин у масиві:

- Короткі — протяжність до 1 м.
- Середньої довжини — протяжність 1-10 м.
- Довгі — протяжність 10-100 м.
- Дуже довгі — протяжність більше 100 м.

Ухил і простягання систем тріщин, взаємне розташування та перехресні зв'язки

Ухил (кут падіння) тріщин — кут між горизонтальною площиною та площиною тріщини. Вимірюється гірничим компасом або іншими спеціальними приладами.

Простягання тріщин — лінія перетину площини тріщини з горизонтальною площиною. Характеризується азимутом простягання — кутом між напрямком на північ та лінією простягання, який вимірюється за годинниковою стрілкою.

Системи тріщин — сукупність тріщин зі схожими елементами залягання (кутом падіння та простяганням). У масиві гірських порід зазвичай виявляється 2-4 основні системи тріщин, які формують характерну блокову структуру.

Взаємне розташування систем тріщин — характеризує геометричні взаємовідносини між різними системами тріщин. Основними типами взаємодії є:

- Перпендикулярне розташування — системи тріщин перетинаються під кутом, близьким до 90° .
- Гострокутне розташування — системи тріщин перетинаються під гострим кутом.
- Тупокутне розташування — системи тріщин перетинаються під тупим кутом.
- Паралельне розташування — системи тріщин орієнтовані паралельно одна одній.

Перехресні зв'язки між тріщинами — характеризують тип сполучення тріщин різних систем:

- Т-подібні зв'язки — одна тріщина впирається в іншу під прямим кутом.

- Х-подібні зв'язки — дві тріщини перетинаються, утворюючи хрестоподібну фігуру.
- Y-подібні зв'язки — тріщина розгалужується на дві.
- Сітчасті зв'язки — багатократне перетинання тріщин різних систем з утворенням мережі.

Блочність масиву — характеризує розмір і форму блоків, на які масив поділений системами тріщин:

- Форма блоків — кубічна, призматична, плитчаста, клиноподібна тощо.
- Розмір блоків — характеризується середнім об'ємом або лінійними розмірами.
- Коефіцієнт блочності — відношення об'єму монолітних блоків до загального об'єму масиву.

3. Проведення спостережень за тріщинуватістю

Польові методи: опис і вимірювання напрямків тріщин, фотографування, керн зі свердловин

Методи вивчення тріщинуватості в природних оголеннях:

- Метод площадок — на оголенні вибирається характерна ділянка (площадка), на якій вимірюються параметри всіх тріщин.
- Метод перетинів (лінійний) — вимірюються параметри тріщин, що перетинають випадково вибрану пряму лінію на оголенні.
- Метод погоризонтних зйомок — вивчення тріщинуватості за горизонтами (поверхами) на схилах або в багатоярусних кар'єрах.

Вимірювання елементів залягання тріщин:

- Вимірювання гірничим компасом — традиційний метод визначення кута падіння та азимута простягання тріщин.
- Використання структурних лінійок та кутомірів — спеціальні прилади для вимірювання елементів залягання.
- Використання цифрових пристроїв — електронні компаси, інклінометри, тривимірні сканери.

Опис характеристик тріщин:

- Форма та протяжність — визначення геометричної форми та довжини тріщин.

- Ширина розкриття — вимірювання відстані між стінками тріщини за допомогою щупів, лінійок або мікроскопічних методів.
- Характер заповнення — опис матеріалу, що заповнює тріщину, його мінералогічний склад та структура.
- Шорсткість поверхні — оцінка нерівностей на поверхні тріщини за допомогою порівняльних шаблонів або профілометрів.

Фотодокументація тріщинуватості:

- Загальні фотографії оголення — для відображення загального характеру тріщинуватості.
- Детальні фотографії характерних тріщин — для документування особливостей окремих тріщин.
- Фотограмметрія — метод тривимірного моделювання оголення на основі серії фотографій.
- Панорамна зйомка — створення панорамних зображень для відображення просторових взаємовідносин тріщин.

Дослідження тріщинуватості за керном свердловин:

- Підрахунок кількості тріщин на одиницю довжини керна — для визначення лінійної густоти тріщин.
- Вимірювання кутів нахилу тріщин відносно осі керна — для визначення просторової орієнтації тріщин.
- Опис характеру поверхонь тріщин та їх заповнення — для встановлення генезису та характеристик тріщин.
- Акустичний каротаж — використання акустичних методів для виявлення тріщин у стінках свердловини.

Дослідження тріщинуватості в гірничих виробках:

- Картування стінок виробок — нанесення тріщин на розгортки стінок виробок.
- Вимірювання елементів залягання тріщин у виробках — використання компаса або інших вимірювальних приладів.
- Шурфування та проходка каналів — для вивчення тріщинуватості в слабкооголених ділянках.

Камеральне опрацювання даних (створення схем і статистичних діаграм)

Створення геологічних схем тріщинуватості:

- Карти тріщинуватості — відображають просторове поширення систем тріщин на площі родовища.
- Схеми тріщинуватості окремих оголень — детальне відображення тріщин на оголеннях або в гірничих виробках.
- Карти блочності — відображають розподіл розмірів блоків на площі родовища.
- Карти інтенсивності тріщинуватості — показують зміну густоти тріщин на площі.

Статистична обробка даних про тріщинуватість:

- Розрахунок середніх значень — визначення середніх значень елементів залягання для кожної системи тріщин.
- Розрахунок стандартних відхилень — визначення ступеня розсіювання значень навколо середнього.
- Побудова гістограм частот — відображення частоти зустрічальності різних значень кутів падіння та простягання.
- Кореляційний аналіз — виявлення взаємозв'язків між різними параметрами тріщинуватості.

Побудова діаграм тріщинуватості:

- Кругові діаграми (рози-діаграми) — відображають азимутальний розподіл простягання тріщин.
- Полярні діаграми — відображають розподіл тріщин за азимутом простягання та кутом падіння.
- Стереографічні проекції — відображають просторову орієнтацію тріщин на сфері (сітка Вульфа або Шмідта).
- Контурні діаграми — відображають щільність розподілу полюсів тріщин на стереографічній проекції.

Обробка результатів вимірювань:

- Групування тріщин за системами — виділення систем тріщин на основі подібності елементів залягання.
- Визначення генетичних типів тріщин — віднесення тріщин до різних генетичних типів на основі їх характеристик.
- Співставлення тріщинуватості з геологічними структурами — виявлення взаємозв'язку між тріщинуватістю та складчастими або розривними структурами.

- Визначення напружено-деформованого стану масиву — реконструкція поля палеонапружень на основі аналізу тріщинуватості.

Просторове моделювання тріщинуватості:

- Детерміністичні моделі — побудова моделей, які точно відтворюють спостережувані тріщини.
- Стохастичні моделі — побудова моделей, які відтворюють статистичні характеристики тріщинуватості.
- Фрактальні моделі — моделювання тріщинуватості з використанням фрактальної геометрії.
- Тривимірні моделі масиву — інтеграція даних про тріщинуватість у загальну геологічну модель родовища.

Практичне застосування результатів вивчення тріщинуватості:

- Оцінка стійкості гірничих виробок — прогнозування поведінки масиву при проходці виробок.
- Визначення напрямків водопритоку — прогнозування шляхів руху підземних вод через системи тріщин.
- Оптимізація системи розробки — вибір напрямків проходки з урахуванням систем тріщин.
- Визначення розміру та форми природних блоків — для оптимізації параметрів буропідривних робіт.
- Прогнозування газодинамічних явищ — оцінка ризику раптових викидів газу по тріщинах.

Геометризація тріщинуватості масиву гірських порід є важливим елементом інженерно-геологічних досліджень, який дозволяє оптимізувати процеси розробки родовищ, підвищити безпеку гірничих робіт та ефективність видобутку корисних копалин.

Тема 22. Геометризація тріщинуватості масиву гірських порід. Діаграми тріщинуватості

1. Опрацювання спостережень і документування тріщинуватості

Таблична та графічна фіксація параметрів тріщин

Таблична фіксація даних про тріщинуватість здійснюється у спеціальних журналах або електронних базах даних і зазвичай включає:

- Ідентифікаційні дані:
 - Номер точки спостереження
 - Координати або прив'язка точки спостереження
 - Дата і виконавець вимірювань
 - Тип виробки або оголення
- Геометричні параметри тріщин:
 - Азимут простягання тріщини (град.)
 - Кут падіння тріщини (град.)
 - Напрямок падіння (румб)
 - Довжина тріщини (м)
 - Ширина розкриття тріщини (мм)
- Морфологічні характеристики:
 - Форма тріщини (пряма, звивиста, ступінчаста тощо)
 - Характер поверхні (гладка, шорстка, дзеркало ковзання)
 - Наявність і тип штрихів ковзання
 - Тип заповнювача тріщини (мінеральний, глинистий тощо)
 - Колір та склад заповнювача
- Додаткові параметри:
 - Відстань до сусідніх тріщин тієї ж системи
 - Взаємодія з іншими системами тріщин
 - Взаємовідношення з шаруватістю породи
 - Наявність мінералізації або ознак рухів по тріщині

Графічна фіксація тріщинуватості включає:

- Замальовки оголень з відображенням основних систем тріщин, їх взаємовідносин та масштабу.
- Розгортки стінок гірничих виробок — площинне зображення стінок виробки з нанесенням всіх тріщин та їх елементів залягання.
- Карти тріщинуватості — планові зображення оголень або ділянок родовища з нанесенням видимих тріщин, їх систем та статистичних параметрів.
- Профілі тріщинуватості — вертикальні розрізи масиву з відображенням зміни інтенсивності та характеру тріщинуватості з глибиною.
- Фотодокументація — фотографії оголень з масштабною лінійкою та орієнтацією в просторі.
- Схеми розвитку окремих систем тріщин — спеціалізовані карти, що відображають розповсюдження та інтенсивність розвитку окремих систем тріщин.

Статистичний аналіз (побудова гістограм, розподілів орієнтацій)

Статистична обробка даних про тріщинуватість включає:

- Групування тріщин за елементами залягання:
 - За азимутом простягання (зазвичай з інтервалом 10° або 20°)
 - За кутом падіння (зазвичай з інтервалом 5° або 10°)
 - За комбінацією обох параметрів для виділення систем тріщин
- Побудова частотних гістограм:
 - Гістограми розподілу азимутів простягання
 - Гістограми розподілу кутів падіння
 - Гістограми розподілу відстаней між тріщинами
 - Гістограми розподілу ширини розкриття тріщин
- Розрахунок статистичних показників:
 - Середні значення елементів залягання для кожної системи тріщин
 - Стандартні відхилення та дисперсії
 - Коефіцієнти варіації
 - Модальні значення (найбільш часто зустрічаються)

- Кластерний аналіз — об'єктивне виділення систем тріщин на основі подібності їх елементів залягання:
 - Метод К-середніх
 - Ієрархічна кластеризація
 - Метод нечіткої кластеризації
- Факторний аналіз — виявлення основних факторів, що визначають формування та розвиток тріщинуватості.
- Кореляційний аналіз — встановлення взаємозв'язків між параметрами тріщинуватості та іншими геологічними характеристиками масиву.

2. Діаграми тріщинуватості

Розгортки на стереографічній сітці, розподіли по азимутах

Сtereoграфічні проекції широко використовуються для відображення просторової орієнтації тріщин та їх систем:

- Сtereoграфічна сітка Вульфа — рівнокутова проекція, що зберігає кути між лініями та площинами. Використовується для:
 - Зображення площин тріщин у вигляді дуг великих кіл
 - Зображення полюсів тріщин (нормалей до площин тріщин)
 - Визначення кутів між різними площинами тріщин
 - Статистичного аналізу орієнтації тріщин
- Сtereoграфічна сітка Шмідта (рівноплощинна) — проекція, що зберігає рівність площ. Використовується для:
 - Побудови контурних діаграм щільності полюсів тріщин
 - Статистичного аналізу розподілу тріщин у просторі
 - Виділення систем тріщин за концентрацією полюсів
- Процедура побудови стереографічних проекцій:
 1. Полюси тріщин або дуги великих кіл наносяться на стереографічну сітку за елементами залягання
 2. При великій кількості вимірювань будується контурна діаграма щільності полюсів
 3. Зони підвищеної концентрації полюсів відповідають системам тріщин
 4. Визначаються середні елементи залягання для кожної системи

- Інтерпретація стереографічних проекцій:
 - Полюси, що групуються в одній точці, відповідають паралельним тріщинам
 - Полюси, розташовані на одній дузі великого кола, відповідають тріщинам з однаковим простяганням, але різним кутом падіння
 - Дві системи взаємно перпендикулярних тріщин мають полюси, розташовані на відстані 90° один від одного

Діаграми розподілу азимутів простягання та падіння включають:

- Кругові гістограми — відображають розподіл кількості тріщин за азимутами простягання або падіння:
 - Кругова вісь відповідає азимуту ($0-360^\circ$)
 - Довжина сектора відповідає кількості або частоті тріщин з даним азимутом
 - Найдовші сектори вказують на переважні напрямки тріщин
- Радіальні гістограми — відображають розподіл тріщин за азимутами та кутами падіння:
 - Кругова вісь відповідає азимуту
 - Радіальна вісь відповідає куту падіння (від центру — крутопадаючі, до периферії — пологопадаючі)
 - Інтенсивність забарвлення або висота стовпців відповідає частоті тріщин

«Троянди тріщинуватості» (rose diagram) для відображення переважних напрямків

«Троянда тріщинуватості» — спеціалізований тип кругової діаграми, що наочно відображає переважні напрямки простягання або падіння тріщин:

- Структура "троянди тріщинуватості":
 - Промені від центру діаграми відповідають різним азимутам (зазвичай з інтервалом 10° або 20°)
 - Довжина променя пропорційна кількості або частоті тріщин з відповідним азимутом
 - Діаметрально протилежні промені часто об'єднуються, оскільки простягання може вимірюватися в діапазоні $0-180^\circ$
- Типи "троянд тріщинуватості":

- Однопелюсткова троянда — характеризує масив з однією переважною системою тріщин
- Двопелюсткова троянда — характеризує масив з двома системами тріщин
- Багатопелюсткова троянда — відображає складну тріщинуватість з багатьма системами
- Ізометрична троянда — вказує на відсутність чітко виражених переважних напрямків
- Модифікації "троянд тріщинуватості":
 - Зважені троянди — довжина променя визначається не лише кількістю тріщин, але й їх іншими параметрами (розкриття, довжина, тощо)
 - Об'ємні (тривимірні) троянди — відображають розподіл тріщин за азимутом і кутом падіння
 - Троянди з ваговими коефіцієнтами — враховують різну значимість різних типів тріщин
- Інтерпретація "троянд тріщинуватості":
 - Витягнуті пелюстки вказують на переважні напрямки тріщин
 - Співвідношення довжин пелюсток характеризує відносну інтенсивність різних систем тріщин
 - Порівняння "троянд" для різних ділянок родовища дозволяє виявити зони з різними системами тріщин
- Практичне застосування "троянд тріщинуватості":
 - Визначення оптимальних напрямків проходки гірничих виробок
 - Прогнозування напрямків водопритоку в гірничі виробки
 - Оптимізація параметрів буропідливних робіт
 - Вибір напрямків відпрацювання блоків природного каменю

3. Вплив тріщинуватості на проведення гірничих робіт

Нестійкість покрівлі, можливість обвалів

Тріщинуватість масиву гірських порід суттєво впливає на стійкість покрівлі та стінок гірничих виробок:

- Вплив орієнтації тріщин відносно гірничої виробки:

- Горизонтальні тріщини в покрівлі — створюють умови для відшарування та обвалення порід покрівлі пластинами
- Вертикальні тріщини в стінках виробки — можуть викликати відокремлення та випадання блоків породи
- Діагональні тріщини — формують клинові блоки, що можуть випадати під дією власної ваги
- Тріщини, паралельні контуру виробки — призводять до концентричного розшарування порід навколо виробки
- Вплив інтенсивності тріщинуватості:
 - Слаботріщинуваті масиви — зазвичай більш стійкі, обвалення відбуваються великими блоками
 - Середньотріщинуваті масиви — помірна стійкість, можливі локальні обвалення
 - Сильнотріщинуваті масиви — низька стійкість, можливі раптові обвалення та вивали породи
 - Роздроблені масиви — вкрай нестійкі, потребують суцільного кріплення
- Вплив характеру заповнення тріщин:
 - Тріщини без заповнення — високий ризик випадання блоків
 - Тріщини з твердим заповнювачем — підвищена стійкість масиву
 - Тріщини з глинистим заповнювачем — зниження стійкості при зволоженні
 - Тріщини з рудним заповнювачем — можливість вибіркового вилуговування та втрати стійкості
- Механізми обвалення порід у виробках:
 - Гравітаційні обвалення — відрив блоків під дією власної ваги
 - Деформаційні обвалення — руйнування внаслідок перерозподілу напружень навколо виробки
 - Гідростатичні обвалення — руйнування під дією гідростатичного тиску в тріщинах
 - Комбіновані механізми — поєднання різних факторів нестійкості
- Прогнозування нестійкості виробок:

- Геомеханічні класифікації масиву (RMR, Q-система, GSI) — враховують тріщинуватість для оцінки стійкості
- Метод структурних блоків — виявлення потенційно нестійких блоків на основі аналізу системи тріщин
- Числове моделювання — розрахунок напружено-деформованого стану масиву з урахуванням тріщинуватості
- Моніторинг зміщень контуру виробки — виявлення зон прогресуючих деформації