

## Лекція 8. Геометризація тріщинуватості масиву гірських порід

### 5.1. Класифікація тріщин

*Тріщини* – це розриви суцільності гірських порід без значного відносного переміщення по них блоків.

При утворенні і зміні гірських порід в загальному процесі розвитку земної кори породи розчленяються по тріщинах на блоки різної величини і форми. Це явище називається *тріщинуватістю масиву гірських порід*. Тріщинуватість являє собою загальну властивість масиву гірських порід. Вона характеризує структуру, геомеханічні властивості масиву і гірничо-геологічні умови досліджуваних ділянок земної кори.

Розв'язування багатьох гірничо-геологічних задач потребує врахування тріщинуватості масиву, що вивчається. Це дає можливість одержати повнішу структурну характеристику, створює правильніше уявлення про масив як шарувате, тріщинувате середовище з анізотропними механічними властивостями.

Тріщини виникають разом з гірською породою, існують і змінюються в ній протягом всієї її історії. В гірських породах вони утворюють складні просторові мережі. Будова мереж тріщин визначає деформаційні, міцнісні, фільтраційні та інші властивості масивів гірських порід і шаруватих товщ, закономірності розміщення і технологію розробки родовищ багатьох корисних копалин. Тріщини можуть бути заповнені водою, газами, мінеральними і органічними речовинами. Тріщини різноманітні за геометричними ознаками, за умовами їх утворення, за формою і будовою.

Тому відповідно розрізняють *геометричну* (рис. 5.1), *генетичну* (рис. 5.2) і *морфологічну* (рис. 5.3) класифікації тріщин.

*За способом утворення* тріщини поділяють на *тріщини сколювання* і *тріщини відриву*. Ці тріщини призводять до розриву суцільності гірських порід.

*Тріщини сколювання* виникають під дією максимальних дотичних напружень. В гірських породах вони, зазвичай, щільно стиснуті, мають рівну і відносно гладку поверхню стінок. Ці тріщини зберігають своє орієнтування. Для них характерною є велика протяжність і порівняно витримана густота. Вони широко розповсюджені на ділянках, порушених підкидами і зсувами. Тріщини сколювання поширюються на великі глибини.

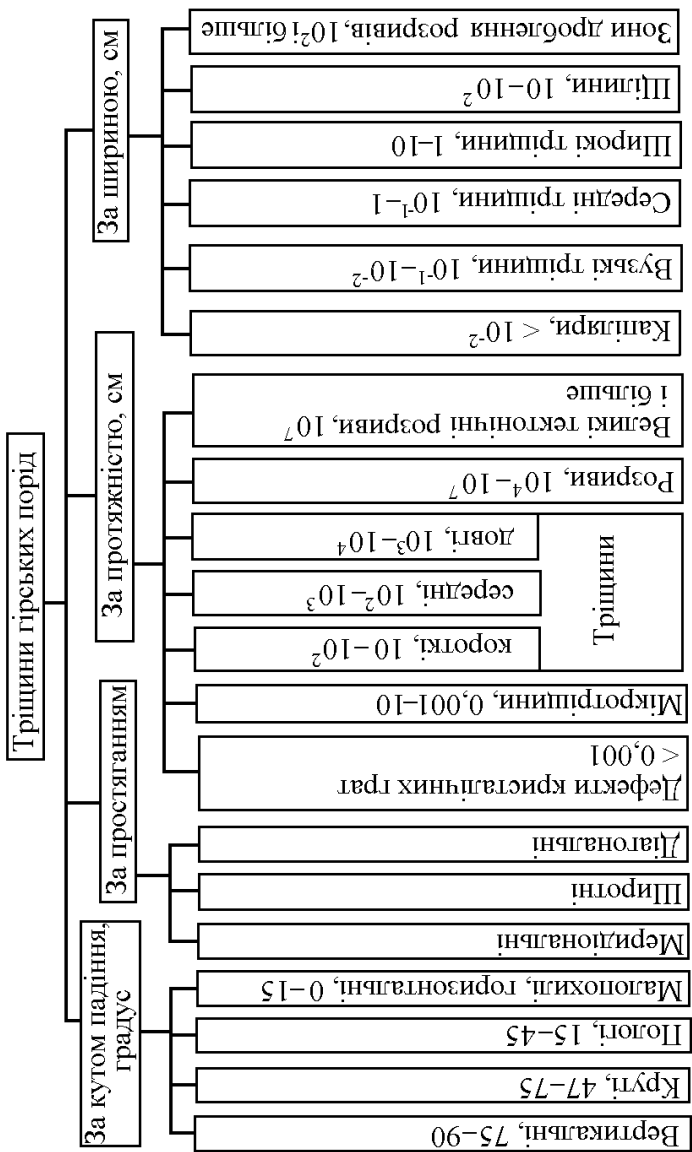
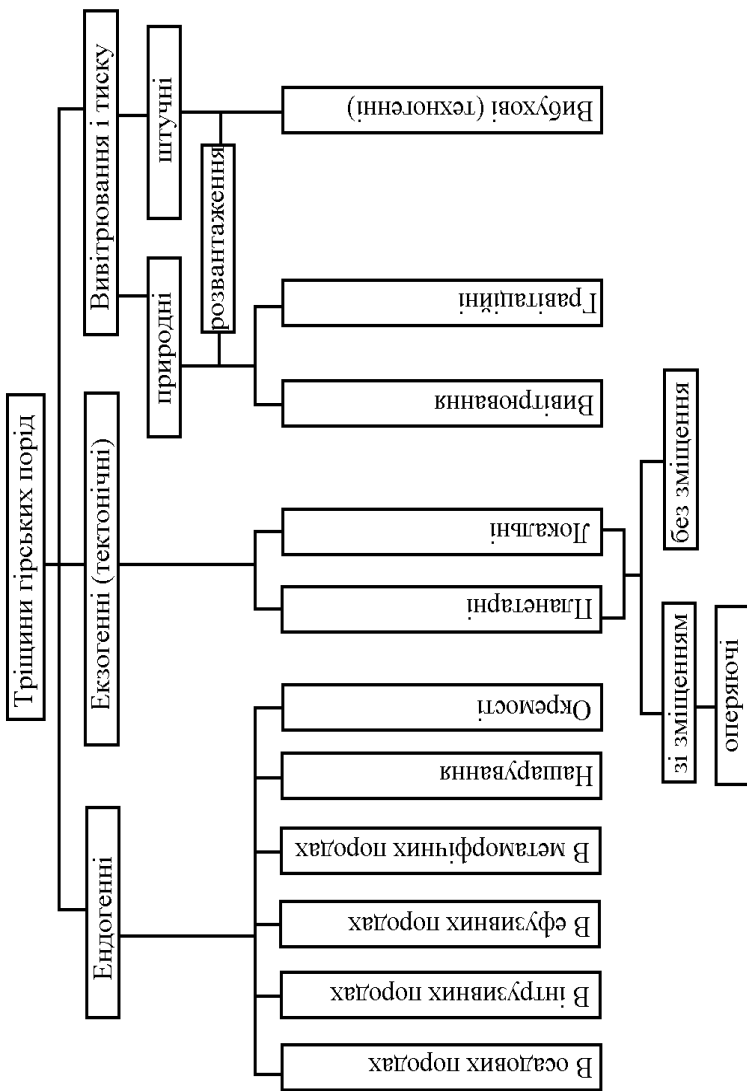


Рис. 5.1. Геометрична класифікація тріщин



5.2. Генетична класифікація тріщин

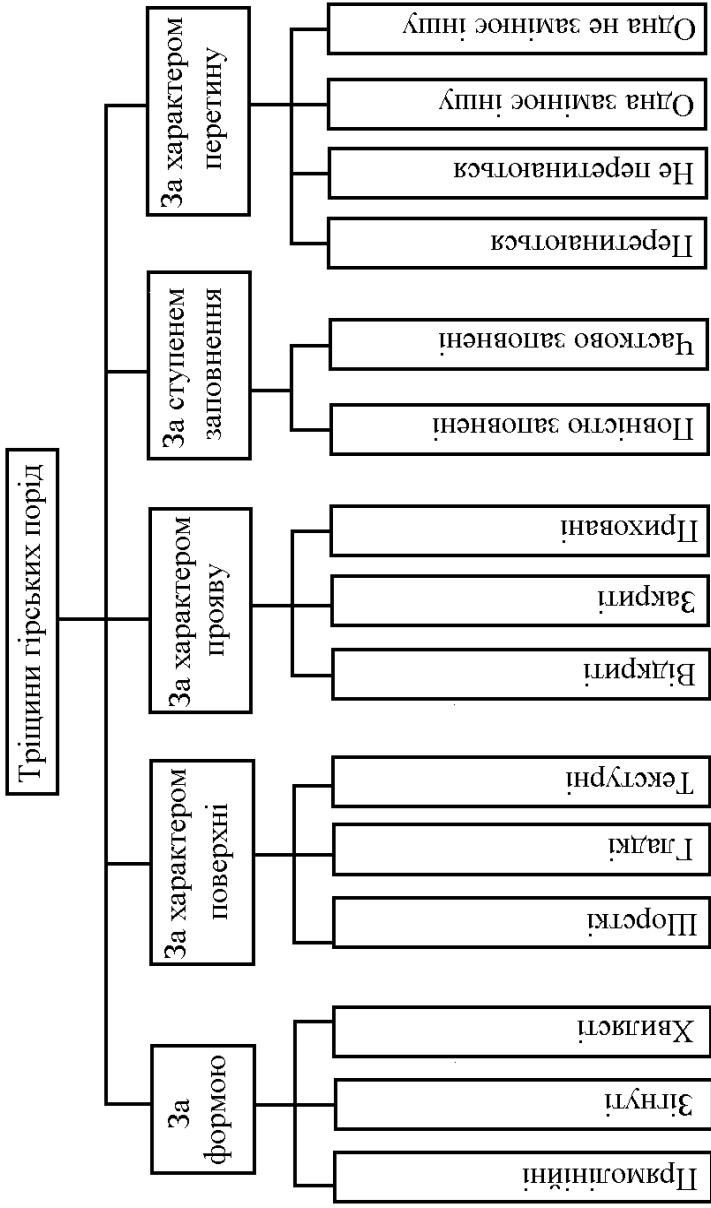


Рис. 5.3. Морфологічна класифікація тріщин

*Тріщини відриву* виникають під дією нормальних напружень, перпендикулярних до головної осі розтягу. Для них характерна криволінійність, нерівномірність поверхні, вони широко виклинюються у напрямку простягання і падіння, заповнені кусками вміщуючих порід. Утворюються вони на поверхні землі, а з глибиною зникають.

*Кліважем* називають здатність гірських порід поділятися по паралельних чи майже паралельних поверхнях на тонкі пластинки. Ця властивість порід в механічному розумінні виражається утворенням поверхонь ковзання, по яких частинки зміщуються відносно одна одної в процесі пластичної деформації. Кліваж не порушує суцільності порід. Цим він відрізняється від розглянутих вище тектонічних тріщин. В зоні вивітрювання кліваж має вигляд відкритих або закритих паралельних тріщин з рівними поверхнями.

В породах, розташованих на глибині, кліваж має приховану будову і може бути помічений лише за переміщенням відносно різко виражених меж. Кліваж широко розповсюджений в деформованих породах, особливо в породах, зібраних в складки. При відбиванні вугілля в очисних вибоях широко використовують кліваж вугільних пластів.

За технологічним чинником тріщини поділяють на *поздовжні* (різниця кутів простягання тріщини і площини відслонення чи схилу не більша  $20^\circ$ ); *діагональні* (різниця кутів простягань в межах  $21 \div 70^\circ$ ); *поперечні* (різниця кутів простягань більша  $70^\circ$ );

Тріщини зумовлюються зменшенням об'єму гірських порід при діягенезисі осадків і при остиганні вивержених порід. Ці тріщини називають *ендогенними*, або *контракційними*, *первинними*, *тріщинами усихання* чи *тріщинами окремоті*. В пластових родовищах такі тріщини розташовуються перпендикулярно до напластування і утворюють, зазвичай, дві системи: *основну*, паралельну простягання пластів, і *торцеву*, паралельну падінню пластів (рис. 5.4).

Основна тріщинуватість ендегенного походження утворюється внаслідок сколювання, торцева – внаслідок відриву. Основна тріщинуватість має гладкі поверхні, торцева – шорсткі.

В кам'яному вугіллі основна тріщинуватість виражається чіткіше, ніж торцева. Місцями тріщинуватість по основній системі проявляється настільки інтенсивно, що увесь вугільний пласт виглядає ніби складений з тонких пластинок.

Тріщини, які появляються внаслідок тектонічних зусиль на вже сформовану породу при утворенні різних тектонічних структур, називають *екзогенними* або *тектонічними*.

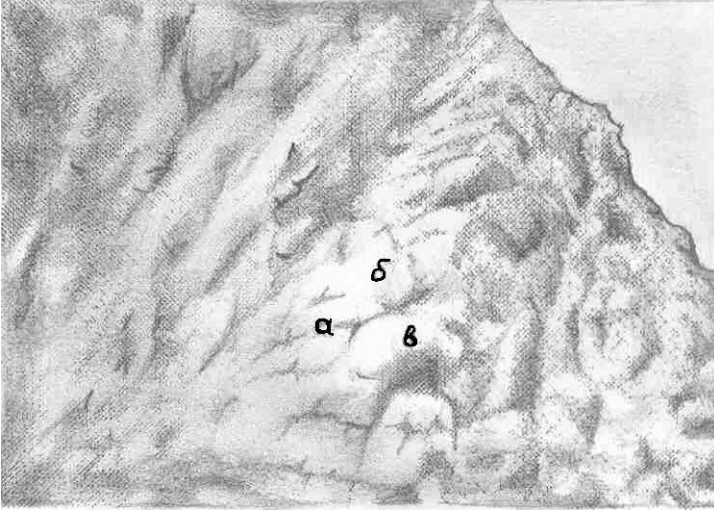


Рис. 5.4. Основна (а), торцева (б), нормальнісідні і діагональні тріщини (в)

Тектонічні тріщини також утворюються як тріщини відриву і сколювання. Тріщини відриву виникають лише при наявності розтягувальних напружень. Тріщини сколювання утворюються під деяким кутом до напрямку найбільших стискуючих зусиль. Відносно пласта більшість таких тріщин розташовується косо. Тому вони одержали також назву *кососічних* (виразно виділяються на рис. 5.4).

*Екзогенні тріщини*, переважно, не пов'язані з напластуванням, мають добре виражені поверхні, на яких можна виявити дзеркала ковзання, сліди притирання. За формою поверхня тріщин буває ребристою, зігнутою, хвилястою, не завжди строго паралельною одна одній. Зчеплення по них незначне.

Екзогенні тріщини найбільш впливають на зсування гірських порід, розподіл тиску бокових порід і відбивання вугілля.

*Тріщини вивітрювання* виникають внаслідок хімічного і фізичного вивітрювання гірських порід, які втратили свою монолітність. Внаслідок вивітрювання з'являється мережа тріщин, яка зумовлює розпаданя великих блоків на окремі куски. При цьому мають місце усі (аж до прихованих) первинні нетектонічні тріщини. Ступінь руйнування порід і густота видимих тріщин, викликаних вивітрюванням, з глибиною швидко зменшуються.

*Тріщини тиску* утворюються під впливом гірського тиску і вибухів при проведенні гірничих виробок і вийманні корисної копалини, коли напруження гірських порід, що виникають на ділянці, перевищують границю пружності. Такі тріщини, в основному, є тріщинами відриву. Поверхні їх досить нерівні, покручені. Поширюються вони нерівномірно і не утворюють систем тріщин.

## 5.2. Параметри тріщинуватості

Оскільки тріщинуватість гірського масиву є постійно діючим чинником, що впливає на умови проведення гірничих робіт, то їх необхідно систематично вивчати, документувати і обліковувати.

При цьому великі тріщини підлягають окремому обліку і документуванню, оскільки їх графічно можна зобразити в масштабі плану. Переважна ж більшість тріщин є малими, тому їх документування, характеристика і облік можливі лише за середніми значеннями показників.

Для структурної характеристики масиву і врахування впливу тріщинуватості при вирішенні гірничих завдань мають значення наступні геометричні показники тріщинуватості:

- орієнтованість тріщин, яка визначається кутовими величинами – простяганням  $A$  і кутом падіння тріщин  $\Delta$ . Цей показник дає можливість виділяти системи тріщин за їх орієнтованістю;

- розкриття тріщин або їх ширина. Цей показник через трудність його вимірювання характеризують наближено шляхом віднесення тріщин в одну з груп: *відкриті*, *закриті* та *приховані*;

- протяжність (довжина)  $t$  тріщин – вимірюється по нормалі до напластування чи сланцюватості (рис. 5.5);

- відстань  $t$  – вимірюється по нормалі між двома сусідніми тріщинами однієї й тієї ж системи;

- інтенсивність (густота) тріщинуватості – характеризується коефіцієнтом  $K$  густоти тріщинуватості.

Розрізняють *лінійний*  $K_{\text{л}}$  *коефіцієнт густоти тріщинуватості*  $K_{\text{л}} = N_{\text{л}}/l$  і *площовий*  $K_{\text{п}}$  *коефіцієнт густоти тріщинуватості*  $K_{\text{п}} = N_{\text{п}}/S$ , де  $N_{\text{л}}$  - кількість тріщин даної системи на відрізьку довжиною  $l$ ;

$N_{\text{п}}$  – кількість тріщин даної системи на ділянці площею  $S$ ;

- ступінь роздробленості масиву  $W = 1/V_{\text{сер}}$ , де  $V_{\text{сер}}$  – середній об'єм блоку, який визначається середніми відстанями між тріщинами найкраще виражених трьох систем, що утворюють форми структурних блоків.

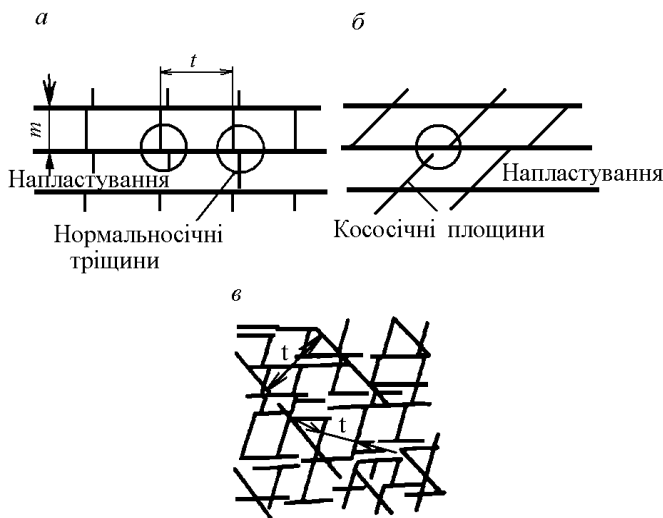


Рис. 5.5. Схеми тріщинуватості у вертикальних перерізах (а, б) і в площині напластування (в)

### 5.3. Проведення спостережень за тріщинуватістю

Вивчення тріщинуватості масиву гірських порід включає польові спостереження, опрацювання і аналіз польових спостережень, побудову стереограм ділянок, складання карти і решітки тріщинуватості гірських порід, аналіз результатів зйомки тріщин з використанням математичної статистики, прогноз впливу структурно-тектонічних особливостей на стійкість гірничих виробок і технологію ведення гірничих робіт.

Всі методи спостереження тріщинуватості поділяють на *прямі* й *непрямі*. Вони можуть бути зведені в три групи: натурні, фотограмметричні і геофізичні. Ці методи в свою чергу поділяють на декілька видів за способом проведення вимірів і відповідно використаному при цьому обладнанню.

Спостерігають тріщинуватість як корисної копалини, так і бокових порід в природних і штучних оголеннях на уступах кар'єрів, у вибоях підготовчих й очисних виробок. Залежно від однорідності структури родовища спостереження ведуть в точках через кожні 10÷200 м.

Для проведення спостережень тріщинуватості гірського масиву установлюють ділянки і точки спостережень. Ділянки спостережень



мають розташовуватися в однакових умовах залягання і в межах блоку великої розривної структури. В межах ділянки спостереження виділяють точки спостереження, приурочені до січних виробок і виробок по покладу.

В січних виробках тріщинуватість масиву спостереженнями вивчається на всю потужність оголених порід. У виробках, пройдених по покладу, вивчається тріщинуватість покладу і безпосередньої покрівлі.

*Точки спостереження* – це оголення у вибої і на стінах виробок різновеликих площ, які уможливають охопити спостереженнями тріщини різних систем.

Перерізи виробок дають можливість в кожній точці спостереження зробити виміри 15÷20 тріщин. Кількість вимірювань на ділянці визначається кількістю точок спостереження і змінюється в межах 80÷120 вимірів. Кожна точка спостереження нумерується і прив'язується до певних контурів виробки або до точок маркшейдерської зйомки. В умовах одноманітного залягання в межах ділянки вказана кількість вимірів є достатньою для надійного визначення середніх значень показників тріщинуватості.

Для вимірювання елементів залягання і параметрів тріщин використовують гірничий компас, тріщинний кутомір, рулетку, лінійку, сантиметрову шкалу, нанесену на рукоятку гірничого молотка.

#### **5.4. Опрацювання спостережень і документування тріщинуватості**

В процесі вивчення тріщинуватості накопичується велика кількість вимірів. Результати опрацювання і узагальнення цих спостережень зображують у вигляді діаграм і решіток (граток) тріщинуватості по окремих ділянках, а також шляхом нанесення умовними знаками на геологічні та маркшейдерські плани.

*Діаграми тріщинуватості.* Результати графічного опрацювання вимірів орієнтування тріщин в межах ділянки спостережень з метою виділення їх систем стосовно вказаного показника і визначення середнього значення елементів залягання кожної системи називають *діаграмою тріщинуватості*.

В умовах горизонтального і пологого залягання порід січні тріщини в переважній своїй більшості є прямовисними чи крутими. Тому виділення систем тріщин здійснюють за азимутом *A*. При використанні цього показника діаграму тріщинуватості будують у формі круга (діаграма-роза) або прямокутника.

Для побудови діаграми-рози всі виміри азимутів простягання тріщин за їх значенням поділяють на класи з деяким кутовим інтервалом, наприклад  $10^\circ$ . В межах кожного інтервалу знаходять середнє значення азимуту, відповідно якого проводять відрізок, що за довжиною в прийнятому масштабі дорівнює кількості вимірів, виконаних в інтервалі. При виборі масштабу (наприклад, 5 вимірів = 1 см) враховують загальну кількість вимірів і потрібну величину діаграми-рози. Потім кінці напрямів в усіх інтервалах послідовно з'єднують прямими, внаслідок чого одержують пелюстки діаграми-рози (рис. 5.6).

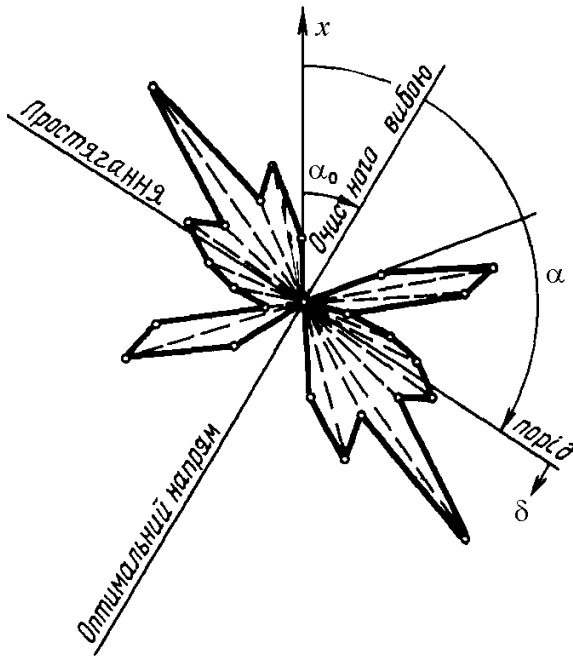


Рис. 5.6. Діаграма-роза тріщинуватості

На діаграмі виділяються дві системи тріщин. Між ними намічається кут, вільний від тріщин. З точки зору безпечного ведення очисних робіт область цього кута є найсприятливішою. Бісектриса цього кута вказує оптимальний напрям очисного вибою.

При розглянутому використанні діаграми-рози її часто називають *паспортом* тріщинуватості порід *покрівлі очисного вибою*. Зазвичай

він має складатися перед проходженням розрізної печі та в усіх випадках появи завалів очисного вибою.

Іноді для розглядуваних умов залягання порід будують прямокутну діаграму тріщинуватості ділянки. Для побудови по осі абсцис відкладають виміряні в кожному інтервалі середні азимуту тріщин, а по осі ординат – кількість вимірів в інтервалі. Слід відмітити, що діаграма-роза, порівняно з прямокутною дає природніше сприймання орієнтування тріщин.

При похилому і крутому заляганні порід орієнтування січних тріщин характеризується величинами  $A$  і  $\Delta$ . В цих умовах кожна тріщина за елементами залягання, як за координатами, зображається точкою. Одержану таким способом діаграму тріщинуватості називають *точковою*. Залежно від способу побудови точкові діаграми тріщинуватості також бувають *круговими* і *прямокутними*.

Для виділення систем тріщин із заданим радіусом  $R$ , що береться рівним 4,5 чи 9 см, і кутовим інтервалом, наприклад  $10^\circ$  (рис. 5.7).

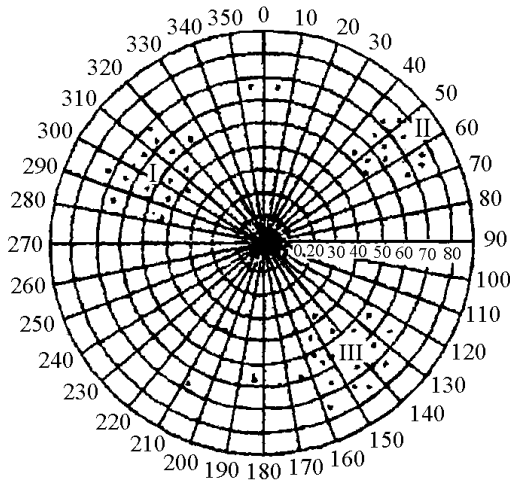


Рис. 5.7. Кругова точкова діаграма тріщинуватості

Якщо при спостереженнях вимірювали азимуту падіння і кути падіння, то кожна тріщина зобразиться за своїми елементами залягання на сітці у вигляді точки. Побудувавши так всі тріщини, ми одержимо кругову точкову діаграму тріщинуватості (див. рис. 5.7). На ній виразно виділяються три скупчення точок. Ці скупчення зображають систе-

ми тріщин за їх орієнтуванням і характеризують тріщинуватість масиву на даній ділянці спостережень.

Для побудови прямокутної точкової діаграми зручно користуватися умовною рівнопроміжною сіткою. По осі абсцис відкладають азимутальні виміри  $A$ , а по осі ординат – кути падіння  $\Delta$  тріщин. Кожна тріщина в такому випадку наноситься за своїми елементами залягання (рис. 5.8).

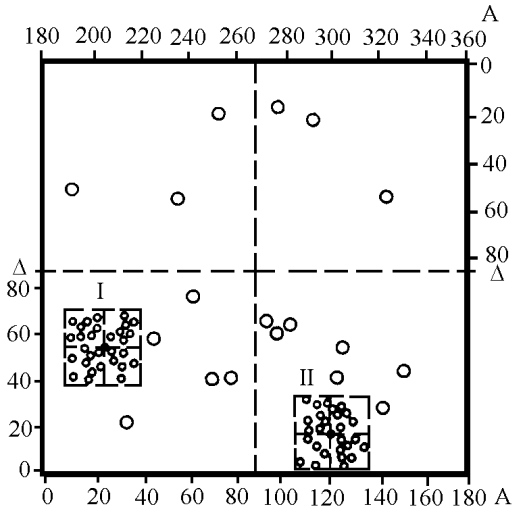


Рис. 5.8. Точкова прямокутна діаграма тріщинуватості

За скупченням точок на діаграмі виділені дві (I і II) системи тріщин. В кожній системі знайдено точки, відмічені на рисунку заштрихованими кружками, які фіксують середні елементи залягання системи.

Прямокутна точкова діаграма тріщинуватості порівняно з круговою має перевагу: вона за умовами побудови є рівноточною в усіх частинах діаграми.

Розміри та густина тріщин кожної системи також характеризуються їх середніми величинами.

Для зображення параметрів тріщинуватості можна скористатися ще циклографічними проекціями.

*Карти тріщинуватості.* Узагальнені відомості про тріщинуватість масиву гірських порід шахтного поля або родовища зображують у вигляді *карти тріщинуватості*. Ступінь узагальнення матеріалу зумовлюється масштабом карти. Масштаб карти може бути різним і

визначається масштабами маркшейдерської і геологічної документації. Найпоширенішим методом зображення орієнтування тріщинуватості на картах – є *точковий метод*. Перспективним в цьому відношенні є також метод циклографічних проєкцій.

*Гратки (решітки) тріщинуватості*. При вирішенні деяких завдань необхідно зобразити структуру масиву в плані чи розрізах відповідно до установленної орієнтації і частоти тріщин. Такий графік називають *решіткою тріщинуватості*. Основне призначення цього графіка полягає в оцінці виділених систем тріщин з точки зору їх впливу на умови роботи або поведінку масиву. Наприклад, при вирішенні питання про вибір напрямку відпрацювання виїмкової ділянки решітка тріщинуватості порід покрівлі будується на вертикальному розрізі в напрямі простягання порід.

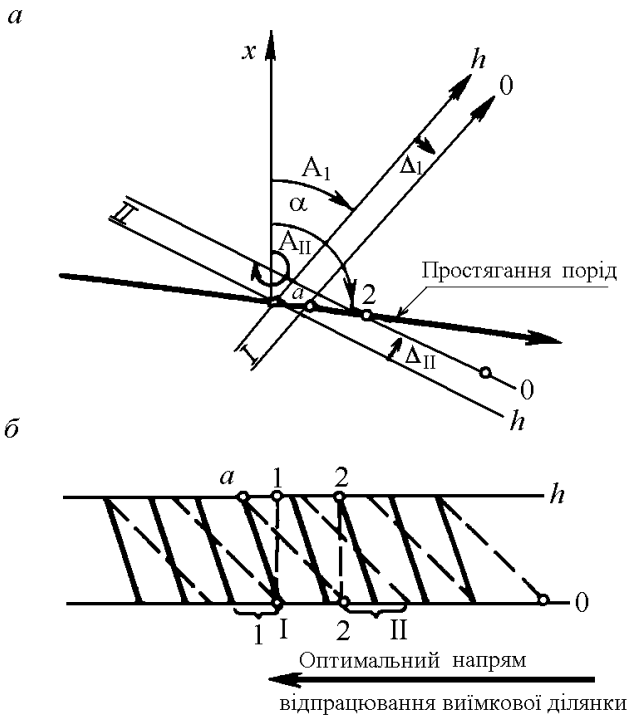


Рис. 5.9. Решітка тріщинуватості  
 а – в плані; б – на вертикальному розрізі в напрямі простягання порід

Оцінка стійкості уступів (бортів) розрізу має враховувати вплив структури масиву, представлені вертикальним розрізом, перпендикулярним до борту розрізу.

В усіх випадках за одержаною інформацією про кількість виявлених систем тріщин, середні значення їх елементів залягання і щільність тріщин решітку тріщинуватості будують в плані у вигляді ізогіп систем тріщин з перерізом  $h$  (рис. 5.9, *a*). Величина перерізу  $h$  визначається потужністю досліджуваної товщі порід.

Відповідно до елементів залягання порід наносять лінію їх простягання, до якої приурочують вертикальний структурний розріз (рис. 5.9, *б*).

На рис 5.10 зображені решітки тріщинуватості борту розрізу для різних кутових співвідношень між кутами схилу, напластуванням порід і січними тріщинами, що уможливають оцінювати вплив виділених систем тріщин і поверхонь напластування на стійкість борту.

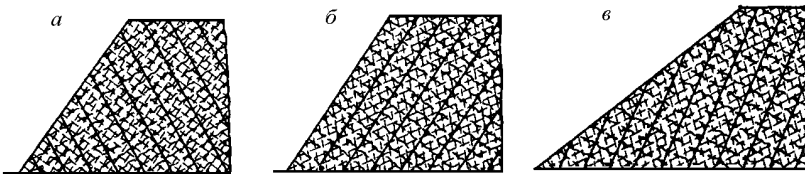


Рис. 5.10. Решітка тріщинуватості бортів розрізу

## 5.5. Вплив тріщинуватості масиву на проведення гірничих робіт

Тріщинуватість масиву гірських порід має велике як позитивне, так і негативне значення в різних галузях гірничої справи. Тріщинуватість порід є одним із параметрів, які визначають запаси корисної копалини і впливають на режим експлуатації родовища.

В процесі розвідки і розробки твердих корисних копалин тріщинуватість гірських порід в одних випадках сприяє підвищенню продуктивності праці, в інших є причиною різного роду ускладнень в роботі та аварій. Відомо, що тріщинуватість є одним з чинників, які зумовлюють відмінності між механічними властивостями порід в зразку і в масиві.

Тріщини, зазвичай, призводять до структурного ослаблення зчеплення масиву. В гірничій практиці є багато прикладів несприятливого розташування лінії вибою лави відносно тріщинуватості. Це ускладнює відбиття вугілля в лавах і підвищує гірський тиск.

При наявності в покрівлі добре розвинутої тріщини зі слабким зчепленням по площинах підтримувати її в таких умовах дуже складно. Такий же вплив на стійкість покрівлі можуть чинити малоамплітудні розриви. Попереднє визначення орієнтування систем тріщин дає можливість при несприятливому куті зустрічі задалегідь вжити заходи і змінити напрям вибою лави, передбачити підсилене кріплення або змінити напрям виробки так, щоб падіння тріщин було направлене в сторону виробленого простору.

При сприятливому розташуванні вибою ( $60^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ) тріщинуватість сприяє віджиму вугілля у вироблений простір, підвищуючи продуктивність праці.

При певному орієнтуванні тріщинуватість може сприяти сколюванню корисної копалини під час руху комбайна, струга чи ковша екскаватора. При несприятливому ж орієнтуванні тріщинуватість може призвести до відколювання великих брил і ускладненню роботи видобувних машин. Орієнтування тріщин має суттєве значення і для направлення струменю води при гідравлічному відбиванні.

Збіг лінії вибою лави з простяганням тріщинуватості порід покрівлі створює сприятливі умови для посиленого тиску на кріплення і раптового обрушення порід покрівлі. Для уникнення цього лінію вибою лави необхідно розташовувати діагонально до систем тріщинуватості порід покрівлі.

Розміри міжкамерних і опорних ціликів багато в чому залежать від тріщинуватості і її орієнтування: чим інтенсивніша тріщинуватість порід, тим більших розмірів залишають цілики.

Крім того, тріщинуватість впливає на величину кута укусу кар'єру і на стійкість гірничих виробок, на газоносність і раптове виділення газу. Скупчення газу, зазвичай, пов'язане із зонами інтенсивної тріщинуватості.

Тріщинуватість впливає на орієнтування шпурів, свердловин і кусковатість підірваної маси при проведенні масових вибухів камер чи ботів кар'єру.

З тріщинуватістю пов'язують: *установлення гідрогеологічного режиму шахти чи рудника*, оскільки тріщини є шляхами проникнення підземних вод у гірничі виробки; *визначення величини кутів зсуву; вивчення в період розвідки і розробки складчастої та розривної структур*, з якими генетично пов'язана тріщинуватість, і *їх прогнозування; установлення інтенсивності зрудніння*.