

В.В. ГОРЕЛІКОВА, студ., Р.В. СОБОЛЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.  
(Житомирський державний технологічний університет)

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИК СТАТИСТИЧНОГО ТА ГРАФІЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ЕКЗОТРИЩИН

*Наведена коротка характеристика існуючих видів діаграм тріщинуватості із зазначенням похибок, які впливають на точність визначення основних параметрів систем екзотрищин. Виконано порівняльний аналіз методик статистичного та графічного визначення основних параметрів систем тріщин, на основі чого розроблено методичку для отримання найбільш достовірної та повної інформації про їх просторову орієнтацію.*

**Актуальність теми.** Тріщинуватість гірських порід різного генезису і віку розвинена всюди і спостерігається як у природних оголеннях, так і в стінках різних гірських виробок. Тріщини не хаотичні, в них простежується регулярність, виражена квазіперіодичними і квазіпаралельними системами. Системи тріщин впливають на вибір способу проведення траншей, напрямку розвитку гірничих робіт, формування комплексів видобувного устаткування, визначення блочності кар'єру та ін. Саме тому найбільш достовірне і повне визначення основних параметрів систем екзотрищин на усіх стадіях розвитку родовища є актуальною науковою задачею.

**Мета статті.** Дослідження методів статистичного та графічного визначення основних параметрів систем екзотрищин та проведення їх порівняльного аналізу.

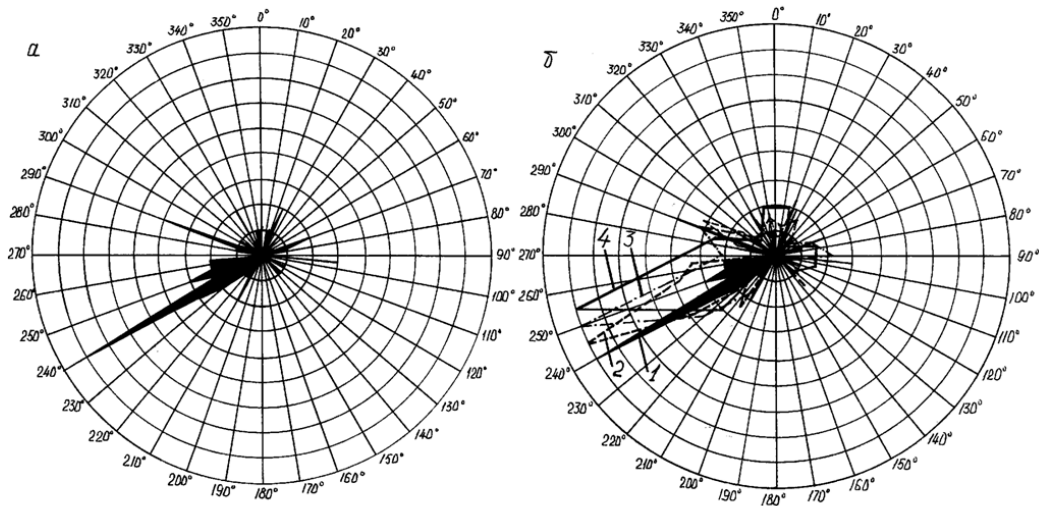
**Аналіз досліджень та публікацій.** Вивченням даного питання займалось багато вчених, серед яких Рац Н.В., Чернишов С.В., Рілов А.П., Тимофеев С.П. [1], Букринський В.О. [2], Ушаков І.М. [3], Трофимов О.О. [4] та багато інших, але жодним із них не було проведено порівняльного аналізу методик статистичного та графічного визначення основних параметрів систем екзотрищин.

**Викладення основного матеріалу статті.** Польові вивчення тріщин гірських порід супроводжуються камеральною обробкою матеріалів, яка включає статистичну і графічну обробку отриманих результатів. Результати опрацювання і узагальнення цих спостережень зображають у вигляді діаграм і ґраток тріщинуватості по окремих ділянках, а також шляхом нанесення умовними знаками на геологічні та маркшейдерські плани [5].

Визначення числа систем екзотрищин і найбільш вірогідних значень їх залягання проводять методами статистичної обробки на точкових діаграмах. Найчастіше використовують прямокутні або кругові діаграми [2].

*Діаграма тріщинуватості* - результати графічної обробки вимірювань орієнтації тріщин в межах ділянки спостереження з метою виділення їх систем по вказаному показнику та визначення середнього значення елементів залягання кожної системи. На практиці використовуються такі види діаграм тріщинуватості: діаграми-рози, прямокутні точкові діаграми, кругові діаграми, структурні діаграми з ізолініями густини тріщин, стереографічні проєкції площин систем тріщин, векторні діаграми систем тріщин. Розглянемо більш детально кожний із них.

В умовах горизонтального та пологого залягання порід, зазвичай, зустрічаються прямовисні чи круті тріщини. Тому виділення систем тріщин здійснюється по азимуту  $\alpha$ . Використовуючи цей показник діаграма тріщинуватості будується у формі кола (*діаграми-рози*) (рис.1, а) [3].



**Рис. 1.** Методика побудови діаграми-рози: а – роза-діаграма з кутовим інтервалом  $5^\circ$ ; б – рози-діаграми з різними кутовими інтервалами (1 – з кутовим інтервалом  $5^\circ$ , 2 -  $10^\circ$ , 3 -  $20^\circ$ , 4 -  $30^\circ$ )

Для побудови рози-діаграми всі вимірювання азимутів простягання тріщин по їх значенням ділять на класи з деяким кутовим інтервалом, наприклад  $5^\circ$ . В межах кожного інтервалу знаходять середнє значення азимута, у відповідності до якого проводять відрізок, по довжині рівний в прийнятому масштабі числу вимірів, проведених в даному інтервалі. Масштаб (наприклад, 1 вимір=1 см) обирається із урахуванням загальної кількості вимірів і необхідної крупності діаграми-рози. Після цього кінці напрямків у всіх інтервалах послідовно сполучають прямими, в результаті чого отримаємо пелюстки рози-діаграми [6].

Як видно з діаграми, значення середніх елементів залягання тріщин залежить від вибраного кутового інтервалу  $i$ , відповідно, відрізняється від інших на декілька градусів.

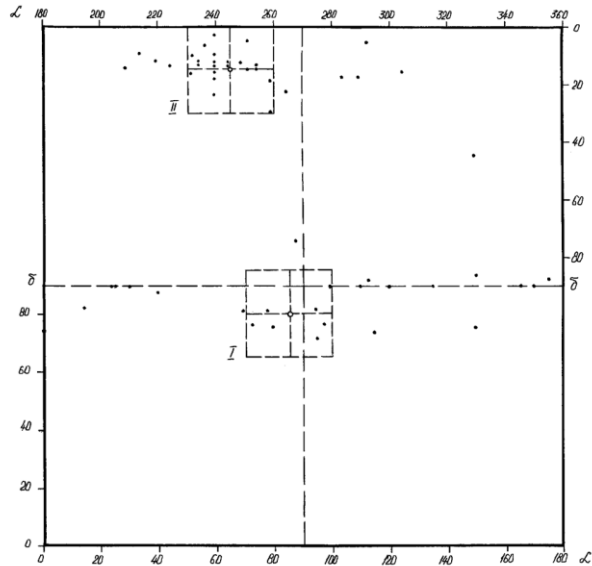
При похилому і крутому заляганні орієнтування тріщин визначається азимут простягання  $\alpha$  та кутом падіння  $\delta$ . В цих умовах кожна тріщина по умовам залягання, як координатам, зображається у вигляді точки, а діаграма тріщинуватості називається точковою. За способом побудови точкові діаграми поділяються на кругові і прямокутні.

При побудові *прямокутної точкової діаграми* (рис. 2) зручно користуватися умовною рівнопроміжною сіткою. По осі абсцис відкладають азимутальні вимірювання  $\alpha$ , а по осі ординат – кути падіння тріщин  $\delta$ .

По природним скупченням точок на діаграми виділені дві системи тріщин. В кожній системі межі скупчення точок по азимутам та кутам падіння не виходять за межі  $30^\circ$ .

Для виділених систем тріщин методом рівноподіляючих ліній знайдені точки, які відмічені на рис. 2 за допомогою кола, що фіксують їх середні елементи залягання. Відповідно, будь-яка точка в межах системи буде мати елементи залягання, які відрізняються від середнього їх значення не більше ніж на  $15^\circ$  [3]. Але при цьому не враховується кількість тріщин з однаковими елементами залягання, що, в свою чергу, збільшує похибку визначення середніх значень елементів залягання систем тріщин.

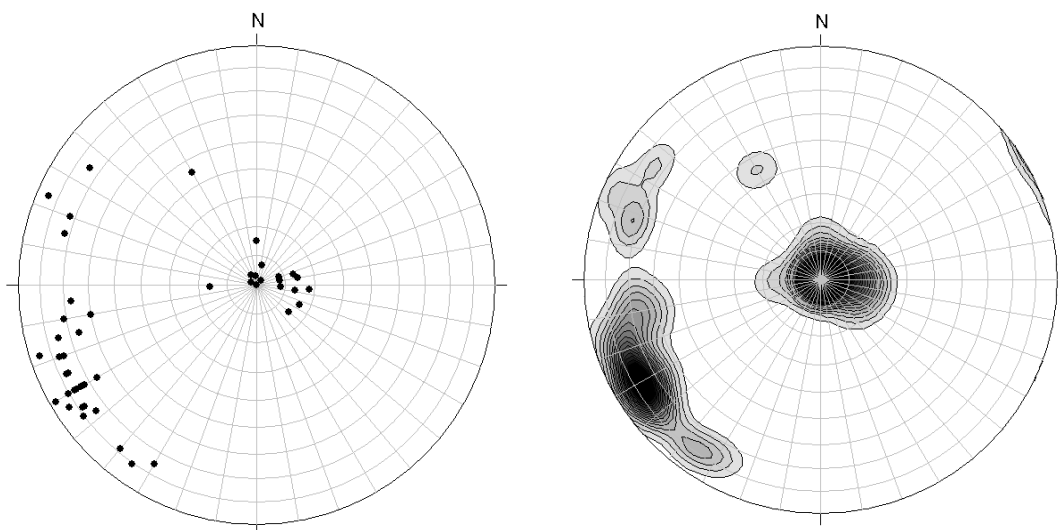
Тріщини різного літологічного походження позначаються по-різному – точкою, хрестиком, колом і можуть оброблятися як одночасно, так і окремо для кожного різновиду [3].



**Рис. 2.** Методика побудови прямокутної точкової діаграми тріщинуватості

Кругова діаграма (рис. 3, а) являє собою полярну стереографічну або іншу сітку. Тут кожна тріщина зображається точкою.

Кругова діаграма є також основою для побудови структурної діаграми з ізолініями густини тріщин (рис. 3, б). Для цього після нанесення на сітку всіх точок вибирають розмір статистичного вікна, наприклад,  $20^\circ$  по куту падіння та  $20^\circ$  по азимуту падіння. В межах кожного вікна визначають число точок, які потрапили у відповідне вікно. Після цього визначають густину - як відношення числа точок в межах вікна до загальної кількості точок на цій діаграмі у відсотках. Обраховане значення густини підписують у центрі вікна, при цьому вікно переміщують на половину розміру вікна по азимуту і куту падіння. Після цього на діаграмі будують ізолінії густини тріщин. Центри областей, обмежені ізолініями максимальної густини, відображають найбільш вірогідні елементи залягання систем тріщин, число яких і вираження характеризуються кількістю вершин і густини ізоліній.

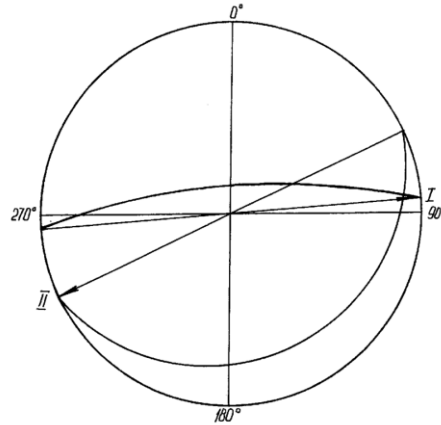


**Рис. 3.** Методика побудови кругових діаграм (а) і структурних діаграм з ізолініями густини тріщин (б)

Для переходу від магнітних азимутів до дирекційних кутів вводять поправку на

зближення меридіанів і магнітне схилення шляхом повороту координатних осей на кут  $\Delta$ , що відповідає поправці.

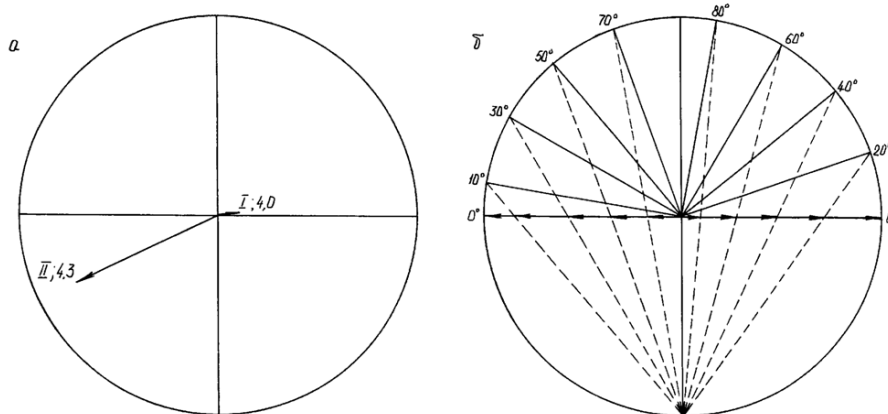
По *стереографічній проекції* (рис. 4) площин можна легко визначити лінію взаємного перетину будь-яких тріщин і елементів її залягання; кут між тріщинами, а також кути між площиною оголення, площиною пласта і кожною системою тріщин, визначити видимі кути падіння площини пласта і тріщин в будь-якому по азимуту вертикальному перерізі.



**Рис. 4.** Методика побудови стереографічної проекції площин систем тріщин

*Векторна діаграма* (рис.5). Кожний вектор напрямлений по азимуту або дирекційному куту лінії падіння системи тріщин, а довжина його пропорційна куту падіння і береться відповідно до масштабу кутів падіння. В кінці кожного вектора підписується номер системи та нормальна частота тріщин – середня нормальна відстань між тріщинами даної системи в метрах.

По векторній діаграмі визначають видимі падіння та взаємоположення тріщин в будь-якому по азимуту вертикальному перерізі. Для цього через початок і кінець кожного вектора проводять по нормалі до них прямі – горизонтальні площини. Через центр діаграми проводять проекцію лінії профілю. По відрізкам на цій лінії між горизонталями кожної площини за допомогою масштабу кутів падіння визначають видимий кут падіння тріщин і пласта і використовують їх при побудові профілю до даному перерізу.



**Рис. 5.** Методика побудови векторної діаграми: а – векторна діаграма систем тріщин; б – масштаб векторів

Лінійний кут  $\nu$  між площинами, елементи залягання яких  $(\alpha_1; \delta_1$  та  $\alpha_2; \delta_2)$  відомі, визначаються за допомогою меридіальної сітки або за формулою:

$$\nu = \arccos(\sin \delta_1 \sin \delta_2 \cos A + \cos \delta_1 \cos \delta_2),$$

де  $\delta_1$  та  $\delta_2$  - кути падіння площин, град;  $A = \alpha_1 \div \alpha_2$  - різниця азимутів простягання площин, град;  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  - азимути простягання площин, град [2].

У зв'язку з великою кількістю діаграм тріщинуватості був проведений порівняльний аналіз вище перерахованих способів (табл. 1).

**Табл. 1.** Порівняльний аналіз діаграм тріщинуватості

Діаграма тріщинуватості	Переваги	Недоліки
Діаграма-роза тріщинуватості	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Можливість визначення оптимально можливого напрямку очисного вибою;</li> <li>+ Діаграма-роза в порівнянні з прямокутною дає наглядніше сприймання орієнтування тріщин.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Використовується лише при горизонтальному та пологому заляганні пласта;</li> <li>- Не враховується кут падіння;</li> <li>- Статистичний аналіз елементів залягання необхідно проводити окремо по гінетичним типам тріщин;</li> <li>- Значення середніх елементів залягання залежать від вибраного кутового інтервалу.</li> </ul>
Точкова прямокутна діаграма тріщинуватості	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ За умовами побудови є рівноточною в усіх частинах;</li> <li>+ Можливість визначення числа систем екзотріщин і найбільш вірогідного значення елементів їх залягання;</li> <li>+ Можливість розділення тріщин за літологічною характеристикою за допомогою умовних знаків;</li> <li>+ Наочність;</li> <li>+ Використовується для будь-якого кута падіння.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Не враховується кількість точок з однаковими елементами залягання;</li> <li>- Незручність обробки результатів вимірювання тріщин із кутами падіння <math>0^\circ</math> і <math>90^\circ</math> та азимутами простягання <math>0^\circ</math>, <math>180^\circ</math> і <math>360^\circ</math>;</li> <li>- Розташування умовних позначень тріщин з кутами падіння <math>90^\circ</math> і азимутами простягання, що відрізняються на <math>180^\circ</math> збігаються;</li> <li>- Статистичний аналіз елементів залягання необхідно проводити окремо по гінетичним типам тріщин</li> </ul>
Структурна діаграма з ізолініями густин тріщин	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Можливість визначення числа систем екзотріщин і найбільш вірогідного значення елементів їх залягання;</li> <li>+ Ізолінії тріщинуватості наочно характеризують просторові характеристики систем тріщин. Можливість графічного розв'язання різних типів задач, наприклад, на визначення: <ul style="list-style-type: none"> <li>• лінії взаємного перетину будь-яких тріщин і елементи її залягання;</li> <li>• кута між тріщинами;</li> <li>• кутів між площиною оголення пласта, площиною пласта, а також кожною системою тріщин;</li> </ul> </li> <li>+ видимих кутів падіння площини пласта і тріщин в будь-якому по азимуту вертикальному перерізі і т.п.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Для переходу від магнітних азимутів до дирекційних кутів необхідно вводити поправку на зближення меридіанів і магнітне схилення;</li> <li>- Статистичний аналіз елементів залягання необхідно проводити окремо по гінетичним типам тріщин;</li> <li>- Для тріщин з кутами падіння <math>90^\circ</math> неможливо визначити азимути простягання. Вимагає наявності навичок у розв'язанні задач із використанням стереографічних проєкцій;</li> <li>- Не дає наочності при зображенні окремих тріщин масиву.</li> </ul>

Продолжение табл. 1.

Векторна діаграма систем тріщин	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Можливість визначення видимих падінь і взаєморозташування тріщин в будь-якому по азимуту вертикальному перерізі;</li> <li>+ Наочність.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Системи тріщин з кутами падіння <math>90^\circ</math> зображаються не вектором, а точкою;</li> <li>- Для знаходження кутів падіння при побудові векторної діаграми та при розв'язанні задач необхідно використовувати масштаб кутів падіння; Необхідність у додатковому визначенні нормальної частоти тріщин.</li> </ul>
------------------------------------	--	---

Для побудови вище перерахованих діаграм, як вихідні дані було використано результати масових замірів тріщинуватості габро-нориту Сліпчицького родовища, а саме центральної частини південної стінки кар'єру. Крім того, було встановлено кутові величини систем тріщин для кожного типу діаграм тріщинуватості (табл. 2).

**Табл. 2.** Кутові величини систем тріщин, визначені за допомогою різних типів діаграм тріщинуватості

Тип діаграми тріщинуватості	Поздовжні тріщини		Поперечні тріщини	
	Кут простягання	Кут падіння	Кут простягання	Кут падіння
Діаграма-роза (кутовий інтервал $10^\circ$ )	95	-	245	-
Точкова прямокутна діаграма	85	80	245	15
Точкова кругова діаграма	85	80	240	15
Структурна діаграма з ізолініями густини тріщин	85	80	240	15

Як видно з даної таблиці найбільшу похибку при визначенні кутових величин систем екзотріщин має діаграма-роза. Цю розбіжність у отриманих значеннях можна пояснити тим фактом, що значення середніх елементів залягання залежать від вибраного кутового інтервалу, тобто чим менший кутовий інтервал, тим точніше будуть визначені кутові величини, але зменшення кутового інтервалу не завжди може бути доцільним. Якщо розглядати діаграми, за допомогою яких визначають не лише кути простягання, але і кути падіння, то в цій групі виділяється точкова прямокутна діаграма. Для даного випадку наявність незначного відхилення кутових значень можна пояснити людським фактором, а також не врахуванням кількості точок з однаковими елементами залягання.

### Висновки

Аналіз діаграм тріщинуватості виявив наступне: за допомогою даних діаграм можливо знайти лише наближені значення елементів залягання систем екзотріщин. Для того, щоб отримати найбільш достовірну та повну інформацію про просторову орієнтацію систем тріщин необхідно об'єднувати та систематизувати дані декількох діаграм. Найбільш ефективним є поєднання структурної діаграми з ізолініями густин тріщин та стереографічної проекції площин систем тріщин.

Всі вище перераховані діаграми на основі виміряних елементів залягання тріщин масиву дають можливість лише фіксувати положення цих тріщин в просторі, об'єднувати їх в окремі системи тріщин, а також графічно розв'язувати задачі на знаходження кутів між необхідними площинами та їх лінії перетину. Та жодна з них не

враховує відстані між тріщинами або системами тріщин, не дає уявлення про форми окремої, а також за їх допомогою неможливо визначити блочність окремого масиву та усього кар'єру загалом, але саме ці завдання є одними із головних, які потребують першочергового розв'язку на кар'єрах декоративного каменю.

### **Бібліографічний список**

1. Рылов А.П. Горная геометрия / А.П.Рылов, Е.П.Тимофеевко. – М.: Недра, 1975. – 231 с.
2. Букринский В.А. Геометрия недр: учебник для вузов / В.А.Букринский. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. – 549 с.
3. Ушаков И.Н. Горная геометрия: учебник для вузов / И.Н.Ушаков. – М.: Недра, 1979. – 440 с.
4. Трофимов А.А. Основы маркшейдерского дела и геометризации недр: учебное пособие для вузов / А.А.Трофимов. – М.: Недра, 1985. – 336 с.
5. Халимендик Ю.М. Основы геометрии надр: навчальний посібник / [Халимендик Ю.М., Редчиць В.С.]; за загальною редакцією проф. М.Т. Бакка. – Житомир: ЖДГУ, 2006. – 303 с.
6. Антипенко Г.О. Гірнична геометрія: підручник / Г.О.Антипенко. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 265 с.

*Надійшла до редколегії 25.12.2009*

**В.В. ГОРЕЛИКОВА, Р.В. СОБОЛЕВСКИЙ**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК СТАТИСТИЧЕСКОГО И ГРАФИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЭКЗОТРЕЩИН**

*Приведена краткая характеристика существующих видов диаграмм трещиноватости, выявлены погрешности, которые влияют на определение основных параметров систем экзотрещин. Выполнен сравнительный анализ методик статистического и графического определения основных параметров систем трещин, на основе чего разработано методика для получения наиболее достоверной и полной информации об их пространственной ориентации.*

**V. GORELIKOVA, R. SOBOLEVSKIY**

### **METHODS OF STATISTIC AND GRAPHIC DETERMINATION OF SPLIT SYSTEMS MAIN FEATURES**

*In this article all the existing kinds of diagrams of fissuring are briefly characterized. The errors influencing the determination of split systems main features are detected. The article also provides us with the comparative analysis of statistic and graphic methods of determining split systems main features and on this basis the means of obtaining the most reliable and full information about their spatial orientation are worked out.*

*© В.В. Горелікова, Р.В. Соболевський, 2010*