

## **Лекція. Підходи до формування показників для геометризації покладів**

Ефективність управління якістю має важливе значення для родовищ нерудних будівельних матеріалів і у більшості випадків визначає рентабельність процесу розробки покладу. Аналіз підходів до управління якістю дозволив виділити такі основні напрями досліджень:

- 1) розробка методологічних основ вибору, вимірювання та класифікації показників якості;
- 2) оцінка просторового розподілу якісних показників;
- 3) обґрунтування методів управління якістю при видобуванні корисних копалин на основі оптимізаційного моделювання технології розробки покладів.

Узагальнення результатів теоретичних та емпіричних досліджень у галузі управління якістю продукції гірничого підприємства дозволило сформулювати наступне визначення: управління якістю продукції гірничого підприємства – це сукупність процесів встановлення кондицій, геолого-економічної оцінки покладу, оптимізаційного моделювання структури видобувних комплексів та технологічних параметрів, які спрямовані на забезпечення стабільності певного рівня якості корисних копалин.

Дослідження показників якості спрямоване на встановлення кондицій корисної копалини, суттєво залежить від напрямку використання і носить індивідуальний характер для кожного окремого родовища. Кількість показників якості для одного родовища варіюється в межах від одного до нескінченності. При виборі показників слід дотримуватись пріоритетності, яка визначається очікуваною економічною ефективністю.

Для більшості покладів нерудних будівельних матеріалів характерний суттєвий вплив тріщинуватості на формування показників якості.

Тріщинуватість гірських порід різної генези і віку характеризується певними закономірностями, які дозволяють виділяти певні квазіперіодичні і квазіпаралельні системи. Системи тріщин впливають на вибір способу проведення траншей, напрямок розвитку гірничих робіт, формування

комплексів видобувного устаткування та інші технологічні показники. Саме тому достовірне і повне визначення основних параметрів систем екзотріщин на усіх стадіях розвитку родовищ нерудних будівельних матеріалів є актуальною науково-прикладною задачею.

Внаслідок різноманітності тріщин, що зустрічаються в скельній породі, були розроблені їх класифікації за різними ознаками такими авторами: Р. Болк, М. В. Рац , С. М. Чернишов, В. А. Невський, В. В. Ржевський, Ш. А. Мамбетов , Г. І. Шевцов та іншими.

Аналіз підходів до класифікації тріщинуватості дозволяє виділити три великих напрями: генетичний, геометричний та комбінований. Перший напрям ґрунтується на вивченні закономірностей формування тріщин певних систем, водночас як другий спрямований на орієнтацію, лінійні розміри та ступінь розкриття тріщин, а третій напрям передбачає одночасне використання всіх вищезазначених ознак. При дослідженні тріщинуватості нерудних будівельних матеріалів найбільшого поширення набула генетична класифікація Р. Болка, в основу якої покладені класифікаційні ознаки Г. Клооса, відповідно до якої тріщини поділяють на поздовжні  $S$ , поперечні  $Q$ , діагональні  $D$  і первинно-пластові  $L$ . Досить поширеною є класифікація тріщин і систем тріщин, запропонована в праці, відповідно до якої групування тріщин виконується за такими критеріями: походженням, ступенем розкриття, абсолютною шириною, коефіцієнтом порожнистості тріщин (визначається відношенням обсягу порожнин до одиниці об'єму скельного масиву) та морфологією поверхні стінок тріщин. Довжина тріщин змінюється в широких межах від  $10^{-3}$  м до  $10^8$  м. У цьому діапазоні виділяються чотири-п'ять класів. Клас порушення суцільності масиву довжиною від 10 см до 100 м називають власне тріщинами, менше 10 см – мікротріщинами, більше 100 м – розривами. У праці [Болк Р. Структурные особенности изверженных горных пород / Р. Болк, Э. Бонштедт., 1946. – 96 с.] наведена генетична класифікація тріщин та їх групування за ступенем поширення, показано геологічні, фізико-географічні та інші умови формування тріщин різних генетичних типів. У

роботі [Невский В. А. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений / В. А. Невский. – Москва: Недра, 1979. – 224 с.] при дослідженні впливу тріщинуватості на ефективність ведення гірничих робіт всі тріщини були поділені на три системи: внутрішньо кристалічні (від  $10^{-9}$  м до  $10^{-5}$  м), міжкристалічні (від  $10^{-4}$  м до  $10^{-2}$  м) та всі інші (від  $10^{-2}$  м до  $10^8$  м) та визначено, що тріщини другої системи впливають на ефективність окремих технологічних процесів, а тріщини третьої системи – визначають ефективність видобувних робіт. В дослідженні [Ржевский В. В. О научных основах расчёта давления горных пород / В. В. Ржевский. // Горный журнал. – 1982. – №6. – С. 1–9.] всі тріщини за генезою розділені на тектонічні, концентраційні, діагенетичні, тріщини вивітрювання та тріщини, які утворились у результаті ведення промислових робіт. Причому тектонічні тріщини за лінійними розмірами відносно покладу поділяються на три порядки: до першого належать тріщини, які виходять далеко за межі контуру покладу, до другого – тріщини, які розташовані в межах блоку і до третього порядку – тріщини, які оконтурюють елементарні блоки. Також запропоновано за розмірами, формою і положенням у просторі поділити всі тріщина на суцільні, переривчасті, ступеневі і відкриті, а за розташуванням мережі – впорядкованими, невпорядкованими та косоперерізувальними. Крім того, стверджується, що тріщини відриву характеризуються нерівними стінками, виникають при розтягу і орієнтовані перпендикулярно до головного напрямку розтягу.

Відповідно до підходу, реалізованому в [Мамбетов Ш. А. Геомеханическая оценка породного массива месторождения “Трудовое” / Ш. А. Мамбетов, Н. Б. Баканов. // Вестник КРСУ. – 2009. – №9. – С. 95.], всі тріщини поділені на 3 групи. До першої групи належать тріщини, які утворились при кристалізації магматичних порід та розбивають масиви гірських порід на окремі блоки. До другої групи відносять тріщини, які виникають внаслідок тектонічних процесів, деформацій або явищ, які виникають на земній поверхні. Третя група тріщин утворюється в результаті процесу вивітрювання тріщин першої та другої груп.

А в публікації [Шевцов Г. И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты / Г. И. Шевцов. – Москва: Высшая школа, 1987. – 296 с.] було встановлено, що формування тріщинуватості зумовлено детермінованими (фізико-механічні властивості породи), планетарними та випадковими (генерація різних систем тріщинуватості від джерел напруг різної геодинамічної природи) чинниками, що постійно діють. Вважається, що азимутальну орієнтацію тріщин визначають дві системи – регіональна (широко поширена і визначає системи тріщин з чіткою орієнтацією) та локальна (формується геодинамічною обстановкою, що існує). Було встановлено вплив зміни місячних припливів на збільшення субвертикальної тріщинуватості родовищ та встановлено наявність просторового зміщення зон аномальної тріщинуватості.

Узагальнивши результати досліджень щодо класифікації тріщинуватості масивів нерудних будівельних матеріалів, можна дійти висновку про домінування тенденції щодо виділення трьох груп тріщинуватості та диференціацію ступеня впливу тріщин різних розмірів та генетичних типів на ефективність видобування. Також очевидним є те, що розробка ефективних методик оцінки закономірностей розвитку та просторової орієнтації систем природних тріщин є актуальною науково-прикладною задачею.

Слід зазначити, що достовірна інформація про закономірності розвитку тріщинуватості покладу дозволить забезпечити високу ефективність управління якістю за рахунок оптимізації параметрів буровибухових робіт, визначення оптимальних розмірів моноліту, оцінки блочності скельних масивів, оцінки впливу тріщинуватості на ефективність окремих технологічних процесів. Так, у результаті виконаних досліджень було доведено, що тріщинуватість масиву може впливати на продуктивність процесу буріння, що дає можливість реалізувати процес управління якістю нерудних будівельних матеріалів на основі вибору оптимальних значень технологічних параметрів процесу буріння.

Різниця властивостей декоративного каменю впливає на економічність процесів добування та обробки, що робить досить актуальним оптимізаційне моделювання процесів видобування, дослідженням якого займались М. Т. Бакка, І. В. Ільченко, Lanru Jing, Н. Luodes, Н. Sutinen, А. Palmstrom, Katherine S. Kalenchuk, Mark S. Diederichs, Steve McKinnon та багато інших науковців. Проте слід зазначити, що ефективного вирішення даної науково-практичної задачі на сьогоднішній день не знайдено. В працях мало уваги приділено створенню математичної моделі природної окремоті та блоку, в той час як використання симплексного аналізу в [Бакка Н. Т. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и техно-логическая оценка месторождений: Справочник. / Н. Т. Бакка, И. В. Ильченко. – М.: Недра, 1992. – 303 с.] суттєво ускладнює подальше оптимізаційне моделювання, яке найбільш вдало реалізоване в [Luodes Н. Evaluation and modelling of natural stone rock quality using ground penetrating radar (GPR) / Н. Luodes, Н. Sutinen. // Geological Survey of Finland. – 2011. – №49. – Р. 83–90.]. Для більшості вивчених наукових праць у цьому науковому питанні характерна відсутність аналізу впливу ефективності подальшого виготовлення готової продукції на каменеобробних підприємствах.

При розробці покладів нерудних будівельних матеріалів суттєвим показником якості слід вважати стабільність окремих показників в залежності від обраного напрямку. Неоднорідність скельних масивів, викликана літологічною мінливістю порід, наявністю і характером тріщинуватості, складчастості, різноманітними геологічними процесами, впливом техногенних факторів, а також масштабним ефектом, є причиною анізотропії властивостей нерудних будівельних матеріалів.

Виділяють чотири порядки анізотропії:

- анізотропія 4-го порядку, обумовлена анізотропією кристалів;
- анізотропія 3-го порядку, що визначається розташуванням зерен мінералів, які складають породу, а також її дрібною внутрішньою шаруватістю;

- анізотропія 2-го порядку, пов'язана з макротріщинуватістю і зовнішньою шаруватістю;
- анізотропія 1-го порядку, обумовлена впорядкованим заляганням порід у вигляді серії блоків, розділених тектонічними розривами.

Найбільш широко поширені тіла корисних копалин, що мають три взаємно ортогональні напрямки анізотропії: жили, розсипи, багато пластових та пластоподібних залягань. Напрямок максимальної мінливості властивостей збігається в них з напрямком потужності, а напрямок мінімальної мінливості – з протяжністю тіла в довжину. Проміжний за значенням напрямок мінливості збігається з шириною залягання. Для більшості родовищ характерним є збіг типів анізотропії на ранніх структурних рівнях. Детальніше розглянемо анізотропію 4-го порядку, пов'язану з властивостями кристалів. Поняття анізотропії має статичний зміст, оскільки оцінює невинякову мінливість корисної копалини в середньому в заданому напрямку. Мірою виміру анізотропії є співвідношення середнього числа елементів неоднорідності по пересічних лініях, проведених в заданому напрямку, до довжин цих ліній у межах досліджуваного об'єму корисної копалини. Загалом виділяють три взаємно ортогональних осі анізотропії, які часто збігаються з напрямками потужності, падіння та простягання природних скупчень корисних копалин. По цих напрямках спостерігається найбільш значні відмінності кількісних характеристик невинякової мінливості властивостей, що вивчаються.

Анізотропія будь-якого порядку може бути виявлена тільки в тому випадку, якщо сукупність структурних елементів, що створюють анізотропію, вкладаються в розміри проби. Ця обставина ускладнює вивчення анізотропії за результатами геологорозвідувальних робіт, оскільки вивчення мінералізованих скупчень проводять не за всіма напрямками, а лише за напрямком потужності. Характеристика анізотропії найважливіших властивостей корисних копалин на нижчих рівнях їх будови використовуються для орієнтування сітки спостережень, а на високих

структурних рівнях – для обґрунтування оптимальних параметрів проб, вирішення проблем технології розробки та переробки мінеральної сировини.

Отже, уявлення про анізотропію властивостей і анізотропію будови мінеральних утворень залежить не тільки від їх природних властивостей, але й від розміщення пунктів спостереження і розмірів відібраних проб. Чим вища природна неоднорідність корисних копалин, тим більше вуюються закономірності просторового розміщення ознак, що вивчаються.

У визначенні напрямків найкращої подільності каменю визначальну роль відіграє аналіз орієнтованої текстури, яка для кожного родовища обумовлена закономірним розташуванням мінералів. Опис анізотропії кристалів, неоднорідності і анізотропії гірських порід та її впливу на лінії полегшеного розколу каменю поданий у працях [Sobolevskiy R. Quality control of drilling operations for efficiency upgrading of creation of separation plane by lineage drilling. / R. Sobolevskiy, V. Shlapak // Metallurgical and mining industry. – 2016. – № 2. – P. 167–173 та Соболевський Р. В. Управління якістю бурових робіт для підвищення ефективності алмазно-канатного різання / Р. В. Соболевський, В. О. Шлапак, О. В. Камських // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук, 2015. – № 5. – С. 106–111.]. Дослідження впливу анізотропії на властивості облицювального каменю на основі використання цифрового та сканувального обладнання провів А. О. Криворучко. Основним недоліком цього методу визначення анізотропії слід вважати можливість сканування лише полірованих зразків у лабораторних умовах, що значно зменшує оперативність оцінки. Тому можна вважати перспективним напрямком досліджень розробку нових методик обробки даних на основі дослідження зображення мінералів у масиві.

Не менш поширеними показниками якості покладів нерудних будівельних матеріалів є вміст певних хімічних елементів та їх сполук. До різних галузей промисловості висуваються різні вимоги щодо якості сировини, при цьому шкідливі домішки для однієї промисловості часто є основним показником якості для виготовлення виробів в іншій, тому

управління якістю в таких випадках має забезпечувати максимальне врахування різновекторних вимог, що вимагає розв'язання цілого ряду складних задач. Так при видобуванні каолінів сучасне промислове виробництво переважно орієнтоване на використання матеріалів з максимальним вмістом каолінітових мінералів і мінімальним вмістом кварцу, калієвого польового шпату, слюди, мінералів оксидів заліза і титану. Для сировини, яка використовується для виготовлення цементу, до домінантних показників слід віднести вміст  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  як компонентів, що переважають у глинах, у сполученні їх з вмістом у вапняках, має забезпечити допустиме значення коефіцієнта насичення, силікатного і глиноземного модулів у клінкері.



Досить часто для оцінки якості покладу формують інтегральні показники, принцип формування яких суттєво відрізняється для кожного конкретного випадку.

Такі багатопараметричні класифікації розробляли такі автори: Х. Лауфер, Л. Мюллер, І. В. Баклаши, Б. А. Картозія, Г. Уікгам, З. Бенявські, Н. Бартон, М. Роша, П. Фукс і М. Свіні та ін.

Найбільш широко використані в інженерній практиці класифікації, побудовані З. Бенявські – система оцінки скельного масиву *RMR* (Rock Mass Rating).

Система *RMR* дозволяє, визначивши чисельне значення параметра *R*, оцінити стан масиву. Параметр складається з кількості балів, які, в свою чергу, визначаються за побудованими таблицями для кожного з шести параметрів, що входять в дану систему (1.1):

$$R = R_c + R_{RQD} + R_{dj} + R_{sj} + R_{oj} + R_w, \quad (1.1)$$

де  $R_c$  – межа міцності на одноосьовий стиск;

$R_{RQD}$  – показник якості породи;

$R_{dj}, R_{sj}, R_{oj}, R_w$  – параметри, що враховують відповідно відстані між тріщинами, їх стан, розташування, водонасиченість.

У окремих роботах комплексний показник якості формується на основі використання інтеграла Шоке та використовується для оцінки доцільності розробки окремих законсервованих родовищ декоративного каменю.

Одна з найбільш поширених у практиці інженерно-геологічних пошуків класифікацій, запропонована Д. Діром, заснована на визначенні показника якості породи *RQD* (rock quality designation). Вона є методом кількісного обліку структурного ослаблення скельного масиву. Показник *RQD* (1.2) визначається в процесі колонкового буріння в результаті обробки даних щодо виходу керна:

$$RQD = \sum l_i / L \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

де  $\sum l_i$  – сумарна довжина шматків керна довжиною понад 0,1 м;

$L$  – загальна довжина буріння (довжина свердловини), м.

Визначення  $RQD$  вимагає відмінної якості буріння через те, що руйнування породи при проходці свердловини може відбитися на показнику. Практичне значення параметра  $RQD$  слід, однак, розглядати не в зв'язку з поширенням класифікаційної системи Д. Діра, а оскільки цей параметр став складовою частиною більш досконалих багатопараметричних класифікаційних систем.

При створенні підсумкових планів для моделювання впливу якісних показників  $P_i$  на підсумкову ознаку  $P$ , що визначається, в роботі [Іськов С.С. Геометризація якісних показників покладів гранітоїдних і габроїдних декоративних каменів: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.15.01 «Маркшейдерія» / Іськов Сергій Станіславович. – Кривий Ріг, 2009. – 20 с. ] запропоновані відповідні поправочні коефіцієнти  $a$ ,  $b_i$  (наприклад, вплив тріщинуватості, блочності, декоративності та іризації на формування вартості покладу декоративного покладу):

$$P = a + \sum b_i \cdot P_i^{n_i}. \quad (1.3)$$

Аналіз досвіду формування комплексного показника якості для різних корисних копалин показав, що найбільш поширеним методом одержання є сумування відносних значень окремих показників з урахуванням, за потреби, коефіцієнтів вагомості окремих властивостей. Як показники якості виступають і корисні, і шкідливі компоненти корисної копалини, вага кожного з них залежить від вимог до сортності для певного виду промисловості. Узагальнення результатів досліджень, які виконувались автором, дозволило сформувати методику одержання комплексного показника якості (рис. 1.1). Адекватність та точність цього показника були розглянуті в публікаціях [Ozcelik Y. The effect of the rock anisotropy on the efficiency of diamond wire cutting machines / Y. Ozcelik, E. Yilmazkaya // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2011. – №48. – P. 626–636.

Толкач О. М. Дослідження емпіричного та теоретичного розподілу якісних показників пірофілітових сланців Кур'янівського родовища / О. М. Толкач, Р. В. Соболевський // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2011. – № 4. – С. 147–151.

Толкач О. М. Побудова регресійної моделі взаємозв'язків основних показників якості пірофілітових сланців / О. М. Толкач, Р. В. Соболевський // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2012. – № 1. – С. 134–138.

Соболевський Р. В. Оцінка точності визначення структурних та якісних показників Кур'янівського родовища пірофілітових сланців / Р. В. Соболевський, О. М. Толкач // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 2. – С. 185–189.].



Рис. 1.1. Методика одержання комплексного показника якості

Комплексний показник якості пропонується визначати з виразу:

$$k_{к.} = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{P}_i}{\bar{P}_o} \frac{n_i}{N}, \quad (1.4)$$

де  $n_i$  – це кількість можливих напрямків використання, за якими встановлено вимогу до якості (граничний вміст)  $i$ -го показника;

$\bar{P}_i$  – значення показника якості в пробі.

$\bar{P}_o$  – базове значення показника;

$N$  – загальна кількість можливих напрямків використання нерудних будівельних матеріалів, де встановлені вимоги до якості.

## Рекомендована література

1. Мамбетов Ш. А. Геомеханическая оценка породного массива месторождения “Трудовое” / Ш. А. Мамбетов, Н. Б. Баканов. // Вестник КРСУ. – 2009. – №9. – С. 95.
2. Шевцов Г. И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты / Г. И. Шевцов. – Москва: Высшая школа, 1987. – 296 с.
3. Ленский В.А. Эффективность применения НВСП на нефтяных объектах Западного Оренбуржья/ Ленский В.А., Ахтямов Р.А., Адиев Р.Я., Бачурин Н.А., Шапоренко С.Н.// Технологии сейсморазведки, М.: 2008. – Вып. 4. – С.87–92.
4. Соболевський Р. В. Управління якістю бурових робіт для підвищення ефективності алмазно-канатного різання / Р. В. Соболевський, В. О. Шлапак, О. В. Камських // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук, 2015. – № 5. – С. 106–111. (входить до переліку міжнародних наукометричних баз даних "Ulrich's Web Global Serials Directory", "eLIBRARY", "Index Copernicus", "Polish Scholarly Bibliography", "Infobase Index", "Inspec", "Open Academic Journals Index", "Google Scholar", "CiteFactor" і "Scientific Indexing Services").
5. Sobolevskiy R. Quality control of drilling operations for efficiency upgrading of creation of separation plane by lineage drilling. / R. Sobolevskiy, V. Shlapak // Metallurgical and mining industry. – 2016. – № 2. – P. 167–173(входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних "Scopus").
6. Бакка Н. Т. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и техно-логическая оценка месторождений: Справочник. / Н. Т. Бакка, И. В. Ильченко. – М.: Недра, 1992. – 303 с.
7. Jing L. Block system construction for three-dimensional discrete element models of fractured rocks / Lanru Jing. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2000. – №37. – P. 645–659.

8. Luodes H. Evaluation and modelling of natural stone rock quality using ground penetrating radar (GPR) / H. Luodes, H. Sutinen. // Geological Survey of Finland. – 2011. – №49. – P. 83–90.
9. Palmstrom A. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD) / A. Palmstrom. // Tunnels and Underground Space Technology. – 2005. – №20. – P. 362–377.
10. Kalenchuk K. Characterizing block geometry in jointed rockmasses / K. Kalenchuk, M. Diederichs, S. McKinnon. // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. – 2006. – №43. – P. 1212–1225.
11. Ozelik Y. The effect of the rock anisotropy on the efficiency of diamond wire cutting machines / Y. Ozelik, E. Yilmazkaya // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2011. – №48. – P. 626–636.
12. Толкач О. М. Дослідження емпіричного та теоретичного розподілу якісних показників пірофілітових сланців Кур'янівського родовища / О. М. Толкач, Р. В. Соболевський // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2011. – № 4. – С. 147–151.
13. Толкач О. М. Побудова регресійної моделі взаємозв'язків основних показників якості пірофілітових сланців / О. М. Толкач, Р. В. Соболевський // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2012. – № 1. – С. 134–138.
14. Соболевський Р. В. Оцінка точності визначення структурних та якісних показників Кур'янівського родовища пірофілітових сланців / Р. В. Соболевський, О. М. Толкач // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 2. – С. 185–189.
15. Толкач О. М. Аналіз методів згладжування при обробці геологорозвідувальних даних / О. М. Толкач, Р. В. Соболевський // Тези міжвузівської науково-практичної конференції, присвяченої Дню науки ЖДТУ – Житомир: РВВ ЖДТУ, 2012. – Т. 1. – С. 159–160.
16. Чулуунбат Л. Автоматизация подготовки данных и оперативного подсчета запасов на рудных месторождениях / Л. Чулуунбат, Р. Бямбацогт. // Вісник КТУ. – 2011. – №28. – С. 3–6.

17. Конг Н. Исследование и разработка высокопроизводительного алгоритма построения цифровых моделей рельефа : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 25.00.35 "Геоинформатика" / Конг Нгуен – Санкт-Петербург, 2011. – 23 с.