

Р.В. Соболевський, д.т.н., проф.
В.В. Мамрай, ст. викладач
В.В. Коробійчук, д.т.н., доц.
А.О. Криворучко, к.т.н., доц.
О.В. Шлапак, к.т.н., доц

Державний університет «Житомирська політехніка»

Обґрунтування методики вибору напрямку ведення гірничих робіт для дискових машин

Однією з головних особливостей при розробці родовищ природного облицювального каменю є вимога збереження монолітності блоків, які видобуваються, та їх декоративних властивостей, забезпечення правильної геометричної їх форми. Ці вимоги задовольняють механічні способи відділення блоків. До цих способів належать гідроклиновий та клиновий способи розділення масиву (моноліту) на блоки, суцільне обурювання масиву, використання невибухових руйнуючих складів або сумішей (НРС), алмазно-канатне різання, а також технологія різання дисковими машинами, яка набирає популярність останнім часом.

Дискове різання більшою мірою задовольняє умови збереження монолітності і геометричних параметрів блоків. Оскільки технологія видобування не передбачає процес перекидання моноліту, то як наслідок, це підвищує вихід товарних блоків. Саме тому в публікації на прикладі Головинського родовища лабрадоритів наведено методику вибору напрямку ведення гірничих робіт для дискових машин. Ця методика заснована на вивченні тріщинуватості родовища природного каменю, на основі якої виділено основні напрями тріщин. На основі відібраних на кар'єрі проб було здійснено мікроструктурний аналіз. За результатами мікроструктурного дослідження були одержані напрями найлегшого різання дисковими пилами для Головинського родовища лабрадориту. Аналіз кореляційного поля для оптимального напрямку різання та азимуту простягання тріщин показав наявність певних закономірностей у групуванні значень. Виконаний кореляційний аналіз взаємозв'язку рекомендуваного напрямку різання з азимутом простягання 60 тріщин для Головинського родовища лабрадориту встановив наявність кореляційного зв'язку, який характеризується коефіцієнтом кореляції – 0,58.

Ключові слова: напрям гірничих робіт; тріщинуватість; мікроструктурний аналіз; мінеральний склад; структура природного каменю.

Вступ. Родовища облицювального каменю високої міцності мають анізотропні властивості. У дослідженнях [1, 2, 4] наголошується, що площини найкращого розколювання гранітних блоків збігаються з напрямом, який розташовується приблизно паралельно поздовжнім тріщинам масиву. При цьому продуктивність розкряювальників на 60 % вища за рівних умов, порівняно з продуктивністю при відколюванні блоків від масиву в перпендикулярному напрямку. Тому формування об'ємних параметрів операцій відокремлювання від масиву монолітів слід робити таким чином, щоб максимальна площа його поверхні збігалася з напрямком найкращого розколювання каменю.

Аналіз літературних джерел. Дослідженнями [5, 6, 12, 20–27], які проведені для високоміцних порід Українського кристалічного щита, було виявлено, що площини, за якими спостерігається найбільш слабе розщеплення мінеральних зерен в гірських масивах, приблизно збігаються з директивним закінченням магми і дуже близькі до основного напрямку розвитку вертикальної поздовжньої тріщинуватості масиву.

У кислих породах одна з площин найкращого розколу паралельна сланцюватості і напрямку лінійності агрегатів зерен та збігається з пластовими тріщинами. Друга – розташована вертикально і просторово орієнтована паралельно вертикальним поздовжнім тріщинам масиву, що збігається з напрямком директивних структур закінчення магми. Максимальні відхилення від напрямку анізотропної подільності мають бути в таких межах: для крупнозернистих ізоморфних порід до $\pm 14^\circ$; для середньозернистих порід до $\pm 10^\circ$; для мілкозернистих порід до $\pm 5^\circ$.

Видобувні вибої в кар'єрі необхідно розташовувати таким чином, щоб максимальна площа поверхні, по якій відокремлюється блок від вибою, збігалася з напрямком найбільш полегшеного розколювання каменю. Розрізні траншеї рекомендується проводити уздовж поздовжніх, а флангові – уздовж поперечних тріщин масиву. У цих випадках досягаються мінімальні нерівності відколу граней блоків, зменшується трудомісткість видобувних робіт.

За теорією Гріффітса-Ірвіна [3], при відомому значенні межі міцності гірської породи на розтяг можна визначити довжину систем тріщин в кристалічних структурах:

де E – модуль міцності, кг/см^2 , σ_p – межа міцності породи на розтяг, кг/см^2 , γ – поверхнева енергія, кг/см^2 .

Поверхнева енергія визначається розривом молекулярних зв'язків:

$$\gamma = \frac{1}{2} - b\sigma_T \quad (2)$$

де b – міжатомна відстань, см ; $b = 10^{-8}$ см ; σ_T – теоретична міцність матеріалу, кг/см^2 .

$$\sigma_T = 0,1E, \text{ кг/см}^2. \quad (3)$$

Звідси формула (1) прийме вигляд:

$$l = (b/20)(E/\sigma_p)^2, \text{ м}. \quad (4)$$

Отже, для однієї і тієї ж гірської породи створення нових систем тріщин має проходити за площинами, які мають мінімальні межі міцності на розтяг.

При розколюванні гранітів ці площини збігаються з площинами найбільш слабкою спаяністю мінералів. Тому було зроблено та підтверджено [1, 7] припущення, що аналогічна залежність проявиться при видобуванні блоків природного каменю дисковими машинами. Всі попередні дослідження тріщинуватості свідчать, що на досліджуваних родовищах існує закономірна система тріщин, що зайвий раз вказує на анізотропію інтрузивних масивів. Отже, для розуміння структури досліджуваних інтрузій необхідно зіставити структури течії магми і систему тріщин окремо, які генетично пов'язані зі структурами течії. Результати досліджень публікацій [2, 8–11, 13–19] свідчать, що напрямок найкращого розколювання та різання каменю значною мірою визначається структурно-текстурною будовою порід, яка оцінюється на основі аналізу шліфів у поляризованому світлі. Саме метод мікроструктурного дослідження може надати більш достовірні дані про анізотропію родовища. За допомогою цього методу можливо визначити напрями найменшого опору різання дисковим машиною, що підвищить ефективність видобувних робіт.

Постановка завдання. На основі аналізу анізотропності гірських порід в масиві родовища обґрунтувати методику вибору напрямку ведення гірничих робіт для дискових машин при видобуванні блочного каменю.

Матеріали і методи. Якщо гірські породи формуються в процесі руху магми, то мінерали, що складають породи, набувають закономірне розташування в просторі, і тим більш виражене, чим сильніший вплив руху. Саме в результаті такого впливу виникає закономірне орієнтування мінералів у первинно розшарованих інтрузивних масивах зі смугастими і лінійними текстурами (структурами).

З метою дослідження впливу мікроструктур на напрям ведення гірничих робіт із застосуванням дискових каменевидобувних машин було досліджене Головинське родовище лабрадориту. У міру вивчення лабрадоритів Головинського родовища, яке має ознаки внутрішніх рухів, було встановлено зв'язки між орієнтуванням мінералів і планом руху магми, що дозволило провести кінематичну інтерпретацію досліджених орієнтувань.

Для проведення мікроструктурного аналізу відбиралися зразки на Головинському родовищі лабрадоритів. У зв'язку з великою зернистістю лабрадориту на Головинському родовищі було проведено серію відбору орієнтованих у просторі зразків. Відповідно при відборі зразка проводилося його маркування. Для цього на рівному майданчику (де спостерігається краще шаруватість або сланцюватість) фломастером наносилися лінії падіння і простягання й записувалися їх координати (наприклад: 315° ПнСх $< 70^\circ$). Якщо майданчик був горизонтальний, наводилась одна координата (азимут) однієї лінії на цьому майданчику.

У місці відбору зразка здійснювалися вимірювання всіх макроскопічно виражених лінійних і площинних структурних елементів: шаруватості, смугастості, лінійності. З відібраних орієнтованих зразків вирізалися орієнтовані шліфи.

Перед проведенням мікроструктурного аналізу вивчався шліф на плоскому столику і описувалися мінерали (рис. 1). Далі поділялася сукупність зерен одного мінералу на групи за такими ознаками, найбільш важливими з яких є:

- 1) розмір, форма, ступінь ідіоморфізми, характер знаходження в породі (основна тканина);
- 2) наявність включень; зерна можуть бути чисті прозорі і замутнені за рахунок диспергування речовини; важливе значення набувають зерна з включеннями метастабільних фаз;
- 3) ознаки деформацій – наявність дуже інформаційних зерен, які вигнуті, подвійні, з кінк-зонами, з хвилястим, хмарним, блоковим згасанням, зламани.

Визначивши набір мінералів для вивчення і дискримінуючих ознак зерен одного мінералу, можна приступити до їх мікроструктурного вивчення. Для цього фєдорівський столик приводиться в робоче положення; для того щоб шліф міг пересуватися тільки паралельно, використовувалися спеціальні рамки, що входять в комплект усіх сучасних моделей мікроскопів з фєдорівськими столиками.



Рис. 1. Мікрофотографія шліфа лабрадору

Для проведення мікроструктурного аналізу використовувалася сітка Вульфа і матова калька трохи більшого діаметра. В спеціальному журналі записувалися основні відомості про зразок, який досліджувався: номер, назва породи, місце відбору і дані вимірювань структурних елементів в оголенні, схематична зарисовка шліфа з його маркуванням, назва досліджуваного мінералу. Вимірювання координат осей, значення кутів і визначені на плоскому столику дискримінуючі ознаки записувалися в розграфлені в журналі стовпці. Додаткові ознаки і відомості про зерно мінералу записуються в графі «Примітки». Zenітні координати осей для зручності записувалися у верхньому інтервалі ($0-90^\circ$), оскільки це значно полегшує подальше винесення точок на діаграму.

Враховуючи статистичний характер мікроструктурного аналізу і його високу трудомісткість, обробка та побудова діаграм проводилася за мінімальним усередненим (з 3–5 замірів) числом вимірювань, що забезпечує стійкий візерунок на діаграмі.

Побудовані у вигляді ізоліній діаграми густин розподілу точок (проекцій осей) зазвичай характеризуються певним візерунком, який відображує будову мінералу, тобто закономірність його знаходження в породі. Ізотропна будова породи характеризується дуже широкою сферою розсіювання осей без помітної їх концентрації.

При аналізі конічного візерунка необхідно знайти його центр і радіус (апікальний кут конуса). Для цього треба провести серію додаткових побудов на стереосітці. На рисунку 2 зображено візерунок з локалізацією вісей уздовж дуги малого кола. Є три максимуми з центрами А, В і С. Спочатку на діаграмі наносять площини S_A , S_B , S_C нормальні до А, В і С. Вони перетинаються в трьох точках АВ, АС і ВС. Потім проводять три площини S_{AB} , S_{AC} , S_{BC} нормальні до цих точок. У цих площинах лежать пари максимумів: А і В, А і С, В і С. Після цього, поєднавши площини S_{AB} , S_{AC} , S_{BC} з меридіанами і визначивши кути між максимумами, знаходять діагональні точки, що ділять ці візерунки навпіл: D_{AB} , D_{AC} , D_{BC} . Далі проводять діагональні площини через діагональні точки і точки перетину однойменних площин, тобто через D_{AB-AB} , D_{AC-AC} і D_{BC-BC} . Точка перетину всіх трьох площин являється центром конічної поверхні π , уздовж якої концентрують вісі. При перетині діагональних площин може виникнути невеликий трикутник похибок, в цьому випадку центром конічної траєкторії є «центр ваги» цього трикутника.

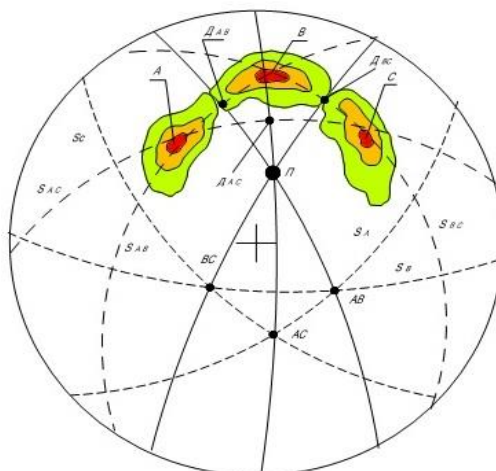


Рис. 2. Знаходження центра і радіуса малоколової траєкторії на краю стереопроєкції

Визначивши центр конічного візерунка і радіус конуса, тобто його апікальний кут, для наочності необхідно накреслити проекцію конічної поверхні або її частини. У тих випадках, коли центр збігається з краєм діаграми, то його треба з'єднати з полюсами і провести малоколову траєкторію, використовуючи паралелі стереопроєкції.

Викладення основного матеріалу. Відстані між пластовими тріщинами Головинського родовища лабрадоритів коливається в значних межах від 1 до 3 і навіть 5 м. Середні величини порівняно близькі 2–3 м. Відстань між вертикальними тріщинами коливається ще в більш широких межах від 1 до 8 і навіть 10 м. Середня відстань становить 6,2 м. З наведених даних видно, що на Головинському родовищі лабрадоритів відстань між тріщинами дозволяє отримати порівняно великі моноліти від $1 \times 2 \times 4 = 8 \text{ м}^3$ до $2 \times 5 \times 10 = 100 \text{ м}^3$.

За вимірами азимутів простягання і падіння тріщин, а також за кутами падіння їх у кар'єрі побудовані точкові кругові діаграми, які дозволили зробити висновки про закономірності поширення основних тріщин (рис. 3). На Головинському родовищі поздовжні тріщини «S» і поперечні «Q» мають порівняно близькі азимут простягання і ореоли розсіювання. Азимут простягання тріщин «S» знаходиться в межах $15\text{--}40^\circ$, азимут простягання тріщин «Q» знаходиться в межах $100\text{--}120^\circ$. Ореоли розсіювання тріщин на Головинському родовищі лабрадоритів знаходиться в межах $20\text{--}30^\circ$. При цьому кількість діагональних тріщин становить $40\text{--}45^\circ$. Кути поздовжніх і поперечних тріщин є круті – $70\text{--}90^\circ$ до пластових від 0 до 20° , іноді 30° .

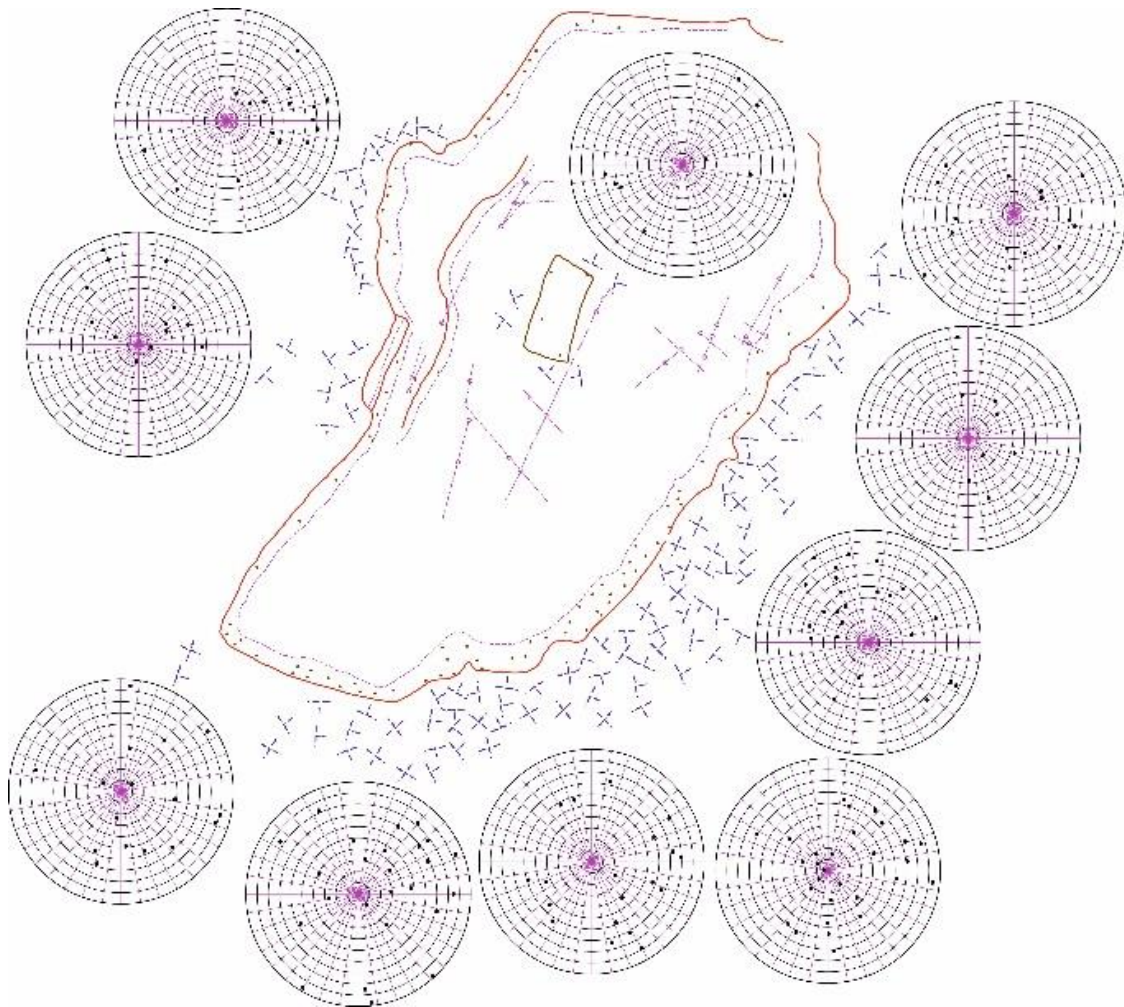


Рис. 3. Діаграми тріщинуватості Головинського родовища лабрадоритів

Наведені дані свідчать про те, що тріщини віддаленості дозволяють отримувати порівняно правильні паралелепіпедної форми окремі.

Площини тріщин рівні, гладкі, іноді шорсткі, покриті нальотами гідроксидів заліза і хлориту, потужність тріщин 2–4 мм, рідко до 1 см в зоні вивітряння.

Наявність тріщин впливає на вихід блочної продукції. Іноді вдавалось отримати моноліти до 5–6 м завдовжки при висоті 2–3 м. Відсутність горизонтальних тріщин несприятливо позначається на

відколюванні блоків. Доводиться бурити горизонтальні шпури для відокремлення моноліту з масиву, що створює іноді штучну тріщинуватість природного каменю. У зоні вивітрювання кількість тріщин різко зростає.

Через неможливість визначити орієнтацію тріщин по дну кар'єра через засміченість була знижена точність замірів.

За результатами мікроструктурного дослідження були одержані напрями найлегшого різання дисковими пилами для Головинського родовища лабрадориту. Аналіз кореляційного поля для оптимального напрямку різання та азимуту простягання тріщин (рис. 3) показав наявність певних закономірностей у групуванні значень. Виконаний кореляційний аналіз взаємозв'язку рекомендованого напрямку відколу з азимутом простягання 60 тріщин для Головинського родовища лабрадориту встановив наявність кореляційного зв'язку, який характеризується коефіцієнтом кореляції – 0,60.

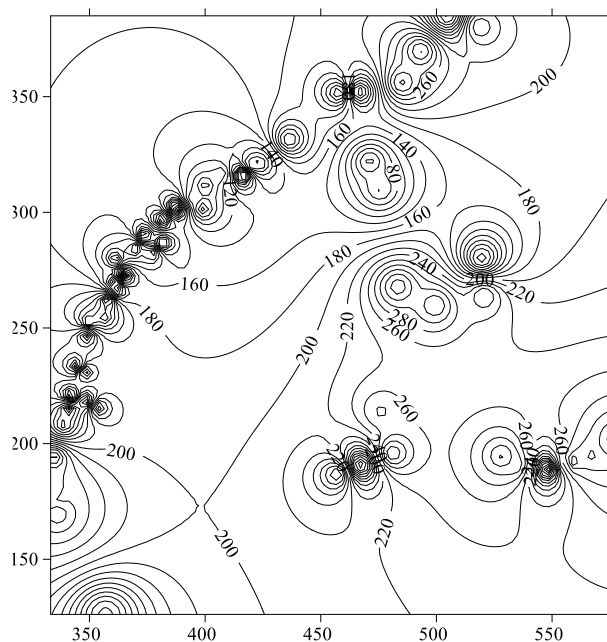


Рис. 4. Карта-схема оптимального напрямку різання дисковою машиною на основі мікроструктурного аналізу шліфів Головинського лабрадориту

Встановлено, що коефіцієнт кореляції для субгоризонтальних тріщин (рис. 5) становить 0,65, що дозволяє встановити аналітичну залежність між оптимальним напрямком різання дисковою машиною та орієнтацією тріщин у вигляді полінома четвертого ступеня наступного вигляду:

$$\varphi_{\text{різ}} = 254,41 + 9,8566\varphi_{\text{с.тр.}} - 0,2294\varphi_{\text{с.тр.}}^2 + 0,0014\varphi_{\text{с.тр.}}^3 - 3 \cdot 10^{-6}\varphi_{\text{с.тр.}}^4, \text{ град}, \quad (5)$$

де $\varphi_{\text{с.тр.}}$ – азимут простягання субгоризонтальних тріщин, градуси.

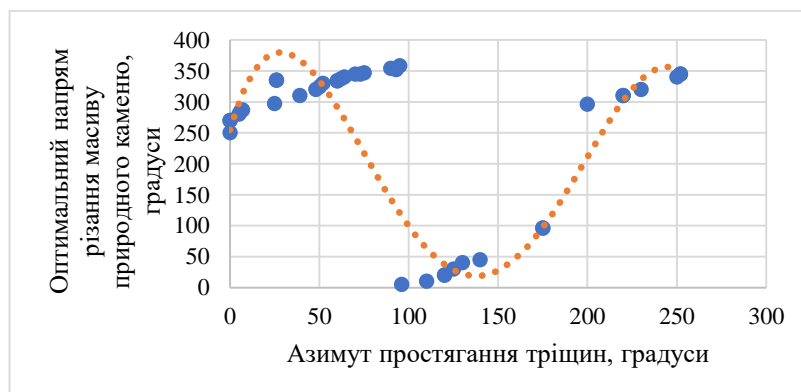


Рис. 5. Залежність напрямку оптимального різання дисками машинами від азимуту простягання субгоризонтальної системи тріщин для Головинського родовища лабрадориту

Оцінка співвідношення напрямків оптимального різання з азимутами падіння тріщин виконана на основі побудови карти векторів (рис. 6), дозволяє стверджувати про наявність зв'язку між зазначеними вище параметрами у західній частині, де більшість значень збігається, та дозволяє стверджувати про наявність чітких закономірностей орієнтації в східній частині, де більшість векторів перетинаються під близькими кутами. Північна частина родовища характеризується певною турбулентністю напрямків, що однозначно може свідчити про складність прогнозу анізотропних властивостей в цій частині родовища.

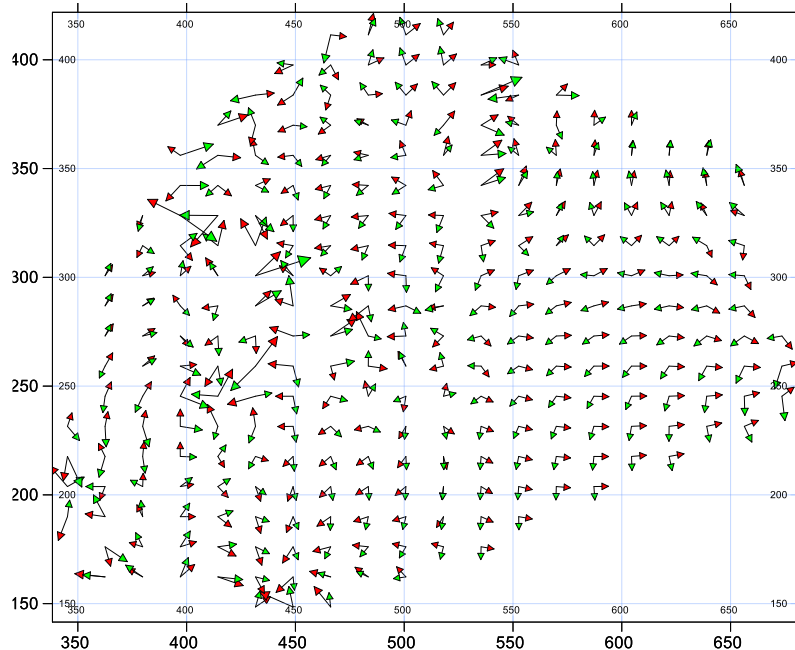


Рис. 6. Співвідношення напрямків оптимального різання з азимутами падіння тріщин (темно-сірий – напрям тріщин, сірий – напрям різання)

Після визначення найкращого напрямку ведення гірничих робіт для кожної з ділянок масив був поділений на блоки (рис. 7). Розмір блоків, які вписувалися в план тріщинуватості, відповідав оптимальній площі підрізання горизонтальної площини моноліту алмазно-канатною машиною (30 м^2) і становив $10 \times 3 \times 1,2 \text{ м}$. Проводилася оцінка виходу блоків з кожної фігури. Таким чином було проведено оцінювання Пд-3х ділянки родовища. Обрахунок коефіцієнта виходу блоків обраховувався для кожного напрямку ведення робіт через кожні 5° .



Рис. 7. Схема орієнтування первинних монолітів, які вирізаються дисковими пилами, відносно тріщин

1 – моноліт $10 \times 3 \times 1,2 \text{ м}$; 2 – точка, відносно якої проводилося обертання орієнтації ведення гірничих робіт (напрямок нарізання монолітів дисковою пилою)

Як видно з результатів розрахунку, при дотриманні оптимального напрямку порівняно з прийнятим на підприємстві за прогнозований вихід блоків зростає з 1050 м³ до 1380 м³, що доводить потребу і ефективність цього алгоритму для визначення напрямку ведення гірничих робіт з метою підвищення раціональності використання сировини родовища і покращення його техніко-економічних показників.

На рисунку 8 наведена залежність зміни коефіцієнта виходу блоків природного каменю від кута повороту напрямку розробки для ділянки № 1 Головинського родовища лабрадориту.



Рис. 8. Графік залежності коефіцієнта виходу блоків від зміни кута повороту ведення гірничих робіт

Графік показує оптимальний напрям розробки ділянки № 1 Головинського лабрадориту є 310°, при якому коефіцієнт виходу блоків складає 38 %, в цьому випадку цей напрям збігається з вертикальними поперечними тріщинами.

Висновки. Отже, за результатами мікроструктурного дослідження були одержані напрями найлегшого різання дисковими пилами для Головинського родовища лабрадориту.

У результаті виконаних досліджень вивчено закономірності просторової мінливості напрямків оптимального різання для родовищ лабрадоритів, встановлена аналітична залежність у вигляді полінома четвертого ступеня для прогнозування оптимального напрямку різання для Головинського родовища лабрадориту.

В результаті виконаних розрахунків були отримані численні статистичні дані, що ясно показують вплив на ефективність ведення гірничих робіт залежності напрямку ведення видобувних робіт у кар'єрі від природної тріщинуватості масиву.

Результати одержаних досліджень дають змогу розробити оптимальну методику планування гірничих робіт з урахуванням анізотропії властивостей покладу декоративного каменю.

Список використаної літератури:

1. Жуков С.О. Теоретические основы динамики процесса откола камня шпуровыми методами в карьере / С.О. Жуков, С.В. Кальчук // Добыча, обработка и применение природного камня : сб-к науч. трудов. – 2015. – № 15. – С. 100–104.
2. Sobolevskyi R. Quality control of drilling operations for efficiency upgrading of creation of separation plane by lineage drilling / R.Sobolevskyi, V.Shlapak // Metallurgical and mining industry. – 2016. – № 2. – P. 167–173.
3. Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids / A.A. Griffith // Philosophical transactions of the Royal Society of London. – 1920. – P. 163–198.
4. Криворучко А.О. Обґрунтування методики геометризації габроїдних порід на основі визначення та оцінки показників структури та декоративності : дис. ... к.т.н. : спец. 05.15.01 / А.О. Криворучко. – Дніпропетровськ, 2006. – 181 с.
5. Дослідження показників очікуваних експлуатаційних втрат сировини при видобуванні блочної сировини дисковими каменерізними машинами / В.В. Мамрай, В.В. Коробійчук, О.М. Толкач, В.О. Шлапак // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2019. – № 1 (83). – С. 270–275.

6. Mamray V. Experience of dimension stone extraction by quarry cutting machine in pokostovsky deposit (Ukraine) / V.Mamray, V.Korobiichuk, V.Shlapak // Journal of mining and geological sciences. – 2019. – Vol. 62 (2). – P. 66–70.
7. Встановлення питомої продуктивності різання природного каменю дисковими пилами / В.В. Мамрай, В.В. Коробійчук, В.О. Шлапак, С.С. Іськов, А.В. Панасюк // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2019. – № 58. – С. 75–83.
8. Коробійчук В.В. Метод оцінки тиску, що виникає при тепловому розширенні кристалів солей і льоду в порах природного каменю / В.В. Коробійчук // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2011. – № 3 (58). – С. 176–179.
9. Коробійчук В.В. Залежність внутрішньопорового тиску від пружних властивостей природного каменю / В.В. Коробійчук // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2012. – № 1 (60). – С. 123–126.
10. Іськов С.С. Формування забарвлення декоративного каменю. Ч. 2 Штучне забарвлення кам'яних виробів / С.С. Іськов, А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2011. – № 1 (56). – С. 100–108.
11. Korobiichuk V. Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures / V.Korobiichuk // International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016. – Springer International Publishing. – 2016. – P. 653–658.
12. Levytskyi V. The optimization of technological mining parameters in quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement / V.Levytskyi, R.Sobolevskyi, V.Korobiichuk // Rudarsko-geološko-naftni zbornik. – 2018. – Vol. 33, No. 2. – P. 83–90.
13. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій для дослідження гірничо-екологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїнський, О.О. Ремезова // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2007. – № 1 (40). – С. 186–195.
14. Shamrai V. Influence of grinding-polishing of natural stone on its shine and lightness shades / V.Shamrai, V.Korobiichuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. – Vol. 5, No 5. – P. 71.
15. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / R.Sobolevskyi, V.Korobiichuk, S.Iskov, I.Pavliuk, A.Kryvoruchko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6/3 (84). – P. 32–40.
16. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material / R.Sobolevskyi, N.Zuievskaya, V.Korobiichuk, O.Tolkach, V.Kotenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 5/3 (83). – P. 21–29.
17. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing / V.Korobiichuk, V.Shamrai, O.Iziumova, O.Tolkach, R.Sobolevskyi // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4/5 (82). – P. 52–57.
18. The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods / I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, M.Nowicki, V.Shamrai, G.Skyba, R.Szewczyk // Construction and Building Materials. – 2016. – Vol. 114. – P. 241–247.
19. Коробійчук В.В. Дослідження впливу агресивного середовища на колірне забарвлення поверхні каменю / В.В. Коробійчук, І.В. Коробійчук, Г.М. Ломаков // Вісник Криворізького національного університету. – 2014. – № 28.
20. Коробійчук В.В. Вплив технологічних чинників на якість лицевального каменю / В.В. Коробійчук, С.О. Жуков, В.І. Астахов // Вісник Криворізького національного університету. – 2014. – № 28.
21. A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators / R.Sobolevskyi et al. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2017. – № 3 (3). – С. 54–67.
22. Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю / А.О. Криворучко та ін. // Вісник ЖДТУ. – 2016. – № 3 (78). – С. 150–163.
23. Investigation of Leznikovskiy Granite by Ultrasonic Methods / I.Korobiichuk et al. // Archives of Mining Sciences. – 2018. – Vol. 63, No. 1. – P. 75–82.
24. Shamrai V.I. Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine / V.I. Shamrai, V.V. Korobiichuk, R.V. Sobolevskyi // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2017. – № 2 (80). – Т. 1. – С. 234–239.
25. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads / V.Korobiichuk et al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 2, No. 5 (92). – P. 20–25.
26. Change in the physical-mechanical and decorative properties of labradorite under thermal exposure / V.Korobiichuk, V.Shlapak, R.Sobolevskyi, O.Sydorov, L.Shaidetska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 1, No. 12 (97). – P. 14–20.
27. Analysis of change in the decorative properties of granites under thermal exposure / V.Korobiichuk, V.Shlapak, A.Kryvoruchko, R.Sobolevskyi, N.Zuievskaya // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 2, No. 12 (98). – P. 35–43.

References:

1. Zhukov, S.O. and Kal'chuk, S.V. (2015), «Teoreticheskie osnovy dinamiki processa otkola kamnja shpurovymi metodami v kar'ere», *Dobycha, obrabotka i primenenie prirodnogo kamnja*, sb-k nauch. Trudov, No. 15, pp. 100–104.
2. Sobolevskyi, R. and Shlapak, V. (2016), «Quality control of drilling operations for efficiency upgrading of creation of separation plane by lineage drilling», *Metallurgical and mining industry*, No. 2, pp. 167–173.

3. Griffith, A.A. (1920), «The phenomena of rupture and flow in solids», *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, pp. 163–198.
4. Kryvoruchko, A.O. (2006), *Obgruntuvannja metodyky geometryzatsii' gabroi'dnyh porid na osnovi vyznachennja ta ocinky pokaznyky struktury ta dekoratyvnosti*, Dyss. of k.t.n., spec. 05.15.01, Dnipropetrovs'k, 181 p.
5. Mamraj, V.V., Korobijchuk, V.V., Tolkach, O.M. and Shlapak, V.O. (2019), «Doslidzhennja pokaznykyv ochikuvanyh eksploataciynyh vtrat syrovyny pry vydobuvanni blochnoi' syrovyny diskovymy kameneriznymy mashynamy», *Visnyk Zhytomyrs'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (83), pp. 270–275.
6. Mamraj, V., Korobiichuk, V. and Shlapak, V. (2019), «Experience of dimension stone extraction by quarry cutting machine in pokostovsky deposit (Ukraine)», *Journal of mining and geological sciences*, Vol. 62 (2), pp. 66–70.
7. Mamraj, V.V., Korobijchuk, V.V., Shlapak, V.O., Is'kov, S.S. and Panasjuk, A.V. (2019), «Vstanovlennja pytomoi' produktyvnosti rizannja pryrodnoho kamenju diskovymy pylamy», *Zbirnyk naukovykh prac' Nacional'nogo girnychoho universytetu*, No. 58, pp. 75–83.
8. Korobijchuk, V.V. (2011), «Metod ocinky tysku, shho vynykaje pry teplovomu rozshyrenni krystaliv solej i l'odu v porah pryrodnoho kamenju», *Visnyk ZhDTU*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3 (58), pp. 176–179.
9. Korobijchuk, V.V. (2012), «Zalezhnist' vnutrishn'oporovogo tysku vid pruzhnyh vlastyvostryj pryrodnoho kamenju», *Visnyk ZhDTU*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (60), pp. 123–126.
10. Is'kov, S.S., Kryvoruchko, A.O. and Korobijchuk, V.V. (2011), «Formuvannja zabarvlennja dekoratyvnogo kamenju», in parts, Part 2 «Shtuchne zabarvlennja kam'janyh vyrobiv», *Visnyk ZhDTU*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (56), pp. 100–108.
11. Korobiichuk, V. (2016), «Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures», *International Conference on Systems, Control and Information Technologies*, Springer International Publishing, pp. 653–658.
12. Levytskyi, V., Sobolevskyi, R. and Korobiichuk, V. (2018), «The optimization of technological mining parameters in quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement», *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol. 33, No. 2, pp. 83–90.
13. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V., Podchashyns'kyj, Ju.O. and Remezova, O.O. (2007), «Zastosuvannja informacijno-kop'juternykh tehnologij dlja doslidzhennja girnycho-ekologichnyh osoblyvostej rodovyshh rudnyh i nerudnyh korisnykh kopalyn», *Visnyk Zhytomyrs'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (40), pp. 186–195.
14. Shamrai, V. and Korobijchuk, V. (2014), «Influence of grinding-polishing of natural stone on its shine and lightness shades», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No 5, P. 71.
15. Sobolevskyi, R., Korobiichuk, V., Iskov, S., Pavliuk, I. and Kryvoruchko, A. (2016), «Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6/3 (84), pp. 32–40.
16. Sobolevskyi, R., Zuievskaja, N., Korobiichuk, V., Tolkach, O. and Kotenko, V. (2016), «Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5/3 (83), pp. 21–29.
17. Korobiichuk, V., Shamrai, V., Izumova, O., Tolkach, O. and Sobolevskyi, R. (2016), «Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4/5 (82), pp. 52–57.
18. Korobiichuk, I., Korobiichuk, V., Nowicki, M., Shamrai, V., Skyba, G. and Szewczyk, R. (2016), «The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods», *Construction and Building Materials*, Vol. 114, pp. 241–247.
19. Korobijchuk, V.V., Korobijchuk, I.V. and Lomakov, G.M. (2014), «Doslidzhennja vplyvu agresyvnogo seredovyshha na kolirne zabarvlennja poverhni kamenju», *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu*, No. 28.
20. Korobijchuk, V.V., Zhukov, S.O. and Astahov, V.I. (2014), «Vplyv tehnologichnykh chynnykyv na jakist' lycjuval'nogo kamenju», *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu*, No. 28.
21. Sobolevskyi, R. and others (2017), «A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators», *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij*, No. 3 (3), pp. 54–67.
22. Kryvoruchko, A.O. and others (2016), «Vyznachennja optymal'nogo naprjamku vedennja girnychyh robot pry vydobuvanni blokiv z pryrodnoho kamenju», *Visnyk ZhDTU*, No. 3 (78), pp. 150–163.
23. Korobiichuk, I. and others (2018), «Investigation of Leznikovskiy Granite by Ultrasonic Methods», *Archives of Mining Sciences*, Vol. 63, No. 1, pp. 75–82.
24. Shamrai, V.I., Korobiichuk, V.V. and Sobolevskyi, R.V. (2017), «Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine», *Visnyk Zhytomyrs'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 2 (80), Vol. 1, pp. 234–239.
25. Korobijchuk, V. and others (2018), «Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 5 (92), pp. 20–25.
26. Korobiichuk, V., Shlapak, V., Sobolevskyi, R., Sydorov, O. and Shaidetska, L. (2019), «Change in the physical-mechanical and decorative properties of labradorite under thermal exposure», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No. 12 (97), pp. 14–20.
27. Korobiichuk, V., Shlapak, V., Kryvoruchko, A., Sobolevskyi, R. and Zuievskaja, N. (2019), «Analysis of change in the decorative properties of granites under thermal exposure», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 12 (98), pp. 35–43.

Соболевський Руслан Вадимович – доктор технічних наук, професор Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- геометризація родовищ корисних копалин;
- розвиток тріщинуватості на родовищах корисних копалин.

Мамрай Василь Васильович – старший викладач Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- видобування блочного каменю;
- відкрита розробка родовищ корисних копалин.

Коробійчук Валентин Вацлавович – доктор технічних наук, доцент Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- обробка природного каменю;
- гірництво.

Криворучко Андрій Олексійович – кандидат технічних наук, доцент Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- геометризація родовищ корисних копалин;
- відкриті гірничі роботи.

Шлапак Володимир Олександрович – кандидат технічних наук, доцент Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- гірничий транспорт;
- відкриті гірничі роботи.

Стаття надійшла до редакції 01.10.2019.