

А.О. Криворучко, к.т.н., доц.
В.В. Коробійчук, к.т.н., доц.
Р.В. Соболевський, к.т.н., доц.
О.В. Камських, к.т.н., доц.
І.В. Павлюк, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО НАПРЯМКУ ВЕДЕННЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ ПРИ ВИДОБУВАННІ БЛОКІВ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

Розглянуто можливість використання сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій для розробки комплексної методики визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю. Розглянуто зв'язок анізотропних властивостей з кристалічною структурою природного каменю та його генезисом як гірської породи. Пропонується методика визначення анізотропності механічних властивостей природного каменю на основі цифрової обробки відеозображень, а також визначення оптимального напрямку ведення видобувних робіт на цій основі. Обгрунтовано завдання декоративного підходу – одержати блоки з заданими показниками декоративності (які не завжди будуть максимальні; наприклад, чітко визначені, для потреб реставраторів). Отримані результати можуть бути використані для визначення напрямку проведення видобувних робіт, після проведення комплексного аналізу, для забезпечення максимального прибутку підприємства.

Ключові слова: природний камінь; анізотропія; видобування блоків з природного каменю; блок.

Постановка проблеми. Природний камінь – цінний декоративно-облицювальний і оздоблювальний матеріал. За останні роки надзвичайно зросли вимоги покупців до якості та форми блоків з високоміцних порід природного каменю. Це обумовлено, передусім, підвищенням вартості транспортних перевезень. На даний час, при перевезенні блоків неправильної форми або невеликих розмірів, транспортні витрати вже не завжди виправдані. Тому сьогодні українським каменедобувним підприємствам пред'являють вимоги як до якості самого каменю, так і до лінійних розмірів та форми блоків. Це змушує вітчизняні кар'єри змінювати і поліпшувати технологію видобування природного каменю, впроваджувати ефективні технологічні комплекси та всебічно досліджувати масив родовища. Отже, при видобуванні блоків декоративного каменю перед інженерною службою кар'єра постає задача в оперативному управлінні якістю блочної продукції. Основною проблемою даного процесу є з однієї сторони відсутність повної інформації про якість сировини розташованої на певній ділянці кар'єру, а з іншої – відсутність розробленої методики та визначення критеріїв оптимальності. Як правило, вихідними даними для управління якістю масиву є дані візуального огляду уступу, та опис найближчих розвідувальних свердловин, відстань до яких становитиме в середньому 50 м. Очевидним є те, що ефективність управління за таких вихідних даних буде низькою. Тому актуальність розробки методики визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю не викликає сумніву.

Якість блочної сировини визначається дефектністю, енергоємністю обробки, декоративністю і корозійною стійкістю виробів, що будуть вироблені з неї. Крім того, на даний час фактор декоративності та якості природного каменю стає ключовим для просування на міжнародний ринок, зміцнення становища та утримання на ньому власної частки. Оскільки товарна група природного каменю представлена на нашому ринку в широкому асортименті, тому у споживача завжди є можливість вибрати відповідний матеріал за категорією ціна/якість.

Висока ж конкуренція на сучасному світовому ринку природного каменю диктує необхідність зниження собівартості видобутих блоків з природного каменю, що можливо лише за рахунок скорочення витрат на видобування. Такого скорочення можна досягти, перш за все, за рахунок впровадження на кар'єрах сучасних і ефективних технологій каменедобування з використанням високотехнологічного і продуктивного обладнання та на основі всебічного вивчення структурних особливостей масиву природного каменю.

Необхідно зазначити, що ринок природного каменю потребує блоки високої якості. При цьому вимоги пред'являються як до блоків, так і до самих порід.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій. Для забезпечення високопродуктивного видобування блоків природного каменю відповідної якості необхідно при експлуатації родовища враховувати природні анізотропні властивості гірських порід, тобто їх неоднакову здатність розколюватися за різними напрямками [1].

Протягом довгого часу спеціалістами ВО «Житомирнерудпром» вивчався взаємозв'язок механічних властивостей габро-норитів та лабрадоритів з їх структурно-текстурними особливостями для одержання оптимальних напрямів лінії розколу і зниження затрат праці при видобуванні блоків [3–7]. Досліди проводилися за породами з різними структурно-текстурними характеристиками. Лінії полегшеного розколу каменю для всіх родовищ, що досліджувалися, мають близьке азимутальне розташування, що обумовлене напрямком течії магми по всьому кристалічному циту.

Всі дослідження під час геологічної розвідки та створення проекту розробки родовищ дають усереднене значення щодо вибору напрямку просування фронту гірничих робіт та напрямку анізотропії масиву.

Однак, на конкретних ділянках видобувного вибою необхідно напрямок відділення (відколювання, відрізання) моноліту від масиву узгоджувати з фактичним напрямком найкращої ділимості, який інколи суттєво відрізняється від усередненого.

Масове розповсюдження і застосування інформаційно-комп'ютерних технологій не обминуло промисловість з видобутку і обробки каменю. В [4, 6, 9] була показана можливість введення зображення поверхні промислових зразків облицовального каменю в обчислювальне середовище сучасних комп'ютерів. Це дозволяє використати всю потужність обчислювальних методів цифрової обробки відеозображень для вирішення практичних задач гірничої промисловості. Такі дослідження і вимірювання зазвичай виконуються шляхом дослідження поверхні зразків природного каменю, відібраних на певних ділянках родовища. Класичні методи дослідження поверхні з застосуванням лабораторного мікроскопу мають ряд недоліків, пов'язаних з використанням ручної праці при вимірюваннях і обробці їх результатів. Тому необхідно використовувати інформаційно-комп'ютерні технології обробки відеозображень для визначення механічних властивостей природного каменю. Що й буде основою для прийняття рішень.

Метою роботи є визначення основних критеріїв, що впливають на вибір оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю.

Викладення основного матеріалу досліджень. Головна особливість родовищ блочного каменю – жорстка прив'язка параметрів системи розробки (висоти уступів, довжини і орієнтації фронту робіт, ширини заходки й тощо) до параметрів та розташування природних тріщин у масиві та напрямку найкращої подільності каменю. Тому однією з поширених задач, що застосовують при проведенні тектонічних, маркшейдерських, інженерних та геологічних досліджень родовищ природного каменю, є аналіз тріщинуватості породних масивів. Крім того, існуючі методики оцінки тріщинуватості і блочності масиву переважно призначені для визначення раціональності родовища в цілому, чи для відробки менш тріщинуватих ділянок. Оскільки для родовищ природного каменю характерні значні варіації властивостей у просторі, то виникає необхідність використовувати декілька способів видобування залежно від фізико-технічних властивостей окремої ділянки, а отже, і використовувати декілька технологічних комплексів.

Різноманіття способів і технологій підготовки каменю до виймання і можливість використання їх при широкій варіації властивостей гірських порід суттєво ускладнює їх вибір для умов конкретного родовища і навіть для певних частин даного родовища. Крім того застарілі технології змінюють новітні з використанням сучасного високопродуктивного устаткування. В даний час на сучасних кар'єрах блочного каменю переважає нова, більш продуктивна високоуступна технологія за двостадійною схемою видобування блочного каменю з використанням **алмазних канатних машин**, яка вже менш залежить від тріщинуватості ніж методи, що основані на розколюванні природного каменю.

Тому задача визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю може мати декілька варіантів рішення, залежно від вибраних критеріїв оптимальності.

Основні критерії можна розділити на 3 групи:

- 1) мінімальні працевтрати та витрати інструменту – анізотропний підхід;
- 2) максимальний коефіцієнт виходу блоків – блочний підхід;
- 3) максимальне збереження декоративності або одержання блоків з заданою декоративністю – декоративний підхід.

Анізотропний підхід. На даний час все ще залишається актуальною задача визначення площини найкращого розколювання для родовищ облицювального каменю та габроїдних порід зокрема. Теоретичних та експериментальних досліджень механізму визначення анізотропності на даний час існує незначна кількість, які до того ж недосконалі і трудомісткі.

Анізотропія, тобто різні властивості за різними напрямками, – це основна характерна особливість кристалічних порід. Як було зазначено в [1–11], масив гірських порід у своїй більшості характеризується наявністю сильно розвиненої упорядкованої тріщинуватості, причиною якої і є анізотропія його будови.

При використанні анізотропії природного каменю в процесі видобування блоків з родовищ можна значно підвищити ефективність роботи без збільшення витрат, а лише завдяки оптимальному розташуванню видобувних вибоїв та оптимальному вибору напрямку посування фронту гірничих робіт. Так, наприклад, при клиновому руйнуванні монолітів (або розділенні на блоки) кількість ударів для відділення блоку від масиву по напрямку найкращого розколу в два рази менша, ніж у перпендикулярному до нього і в п'ять разів менша ніж під косим кутом. Дана особливість є не що інше, як механічний прояв певного орієнтування кристалів мінералів у природному камені. Анізотропія властивостей у даному випадку зумовлюється так званими **статичними поверхнями**, які визначаються орієнтуванням кристалічних решіток мінералів.

Колії на основі досвіду або інтуїції відшуковують або вгадують її напрям. Однак, їм це не завжди однаково вдається. На це є природні причини, хоча суб'єктивними помилками коліїв нехтувати також непотрібно. Вся справа полягає в тому, що ступінь орієнтування мінералів та плоский паралелізм проявляються в різній мірі на різних ділянках масиву через суто природні причини.

По-перше, логічно очікувати краще виражені площини течії, а отже, і краще орієнтування мінералів на ділянках, де швидкість течії магми була більшою, завдяки чому мінерали орієнтувалися одноподібно.

По-друге, природні причини впливали на витриманість площин течії магми, а отже, й на витриманість у просторі площин найкращого розколювання. Так, шлірові утворення, що зустрічалися на шляху магми, призводили до обтікання, завихрення та інших видів дезорганізації в формуванні площин найкращого розколювання.

По-третє, важливе значення мали процеси укорінення та подальшої диференціації магми. Наприклад, у помірно рухомій магмі, що укорінювалася без завислих кристалів і повільно застигала, виникали чисельні центри кристалізації плагіоклазу і утворювалися однорідні структура і текстура. В інших випадках, орієнтування поздовжніх, гольчастих кристалів у породі було зумовлено лише їх ростом у магмі, що охолоджувалася. В цілому ж, будова розшарованих масивів габроїдів, до яких приурочені як родовища облицювального каменю, так і рудні родовища, є досить складною. На процеси формування таких масивів впливали як процеси гравітаційної диференціації, так і наявність течії в магматичній камері, процеси осаджування в ній кристалів за умови їх подальшого обростання матеріалом. Відбувалися періодичні зміни об'єму магми при її застиганні, що порушувало рівновагу розплавів і призводило до виникнення кумулятивних шарів. Так, наприклад, габро Кам'янобрідського і Сліпчицького родовищ характеризуються явно вираженою шаруватістю, що паралельна площині постільних тріщин масиву. Шаруватість пояснюють розподіленням темно-кольорових і світлих мінералів (біотиту і плагіоклазу). З усіх складових мінералів габро біотит найлегше піддається руйнуванню, тому зусилля при відділенні блоків у площині орієнтування даного мінералу мають бути мінімальні. А в лабрадоритах Головинського, Кам'янобрідського і Слобідського родовищ найбільш слабка спайність мінералів проявляється між кристалами плагіоклазу та піроксену і спостерігається вона по площинам розвитку вертикальних поздовжніх систем тріщин масиву.

Тому важко визначати площини найкращого розколювання, а отже, і видобувати блоки на ділянках, що характеризуються розвитком шлірів, пегматоїдних утворень і шаруватістю.

Для забезпечення високопродуктивного видобування блоків природного каменю відповідної якості необхідно при експлуатації родовища враховувати природні анізотропні властивості гірських порід, тобто їх неоднакову здатність розколюватися за різними напрямками.

За результатами досліджень встановлено, що:

– для **головинських, кам'яноблідських і кам'янопічських лабрадоритів** найбільш слабка спайність мінералів проявляється між кристалами плагіоклазу і піроксену, форми яких витягнуті в напрямку з північного заходу на південний схід;

– для **сліпчицьких, букинських, торчинських, горбулівських і слобідських габро-норитів** – між кристалами плагіоклазу і зернами піроксену, які орієнтовані з північного заходу на південний схід.

Усі дослідження під час геологічної розвідки та створення проекту розробки родовищ дають усереднене значення щодо вибору напрямку посування фронту гірничих робіт та напрямку анізотропії масиву.

Однак при цьому, на конкретних ділянках видобувного вибою необхідно напрямком відділення (відколювання, відрізання) моноліту від масиву узгоджувати з фактичним напрямком найкращої ділимості, який інколи суттєво відрізняється від усередненого.

Про необхідність узгоджувати напрям відділення моноліту з особливостями будови конкретної ділянки родовища свідчить як зміна параметрів тріщинуватості та структурно-текстурних особливостей, так і зміна порід при переході з купольної частини масиву до периферії (чи з верхніх горизонтів до нижніх). Необхідність дослідження внутрішньокристалічних і міжкристалічних тріщин також очевидна, оскільки отримані результати дозволять визначити анізотропні властивості природного каменю та одержати необхідні дані для обґрунтування вибору технологічних параметрів підготовки каменю до виймання за допомогою способів, **що ґрунтуються на створенні саме відривних зусиль** (використання НРЗ, клинів, гідроклинів і тощо).

За твердженнями дослідників [6, 7], похилі тріщини L паралельні нашаруватості порід, поздовжні тріщини S майже на всіх родовищах паралельні структурам течії магми. Розвиток поздовжніх і первинно-пластових тріщин паралельно узгоджується з напрямком структур течії магми, а тому і з анізотропією каменю, що дозволяє обґрунтовано вибирати розташування фронту робіт, видобувних вибоїв і одержувати оптимальний напрямок площин розколу при видобуванні блоків.

З теорії Гріффітса-Ірвіна слідує, що створення нових систем тріщин має йти в тих площинах, де межі міцності порід при розтягу мінімальні. Будь-які види тріщин (будь-то міжкристалічні чи регіональні) утворилися внаслідок дії напружень (будь-то напруження, що виникають при кристалізації магми, чи напруження, що виникають внаслідок тектонічної активності) і поширюються по площинам найбільш слабкої спайності мінералів (що являють собою концентратори напружень).

Відсутність же достовірної інформації про анізотропні властивості не дозволяє здійснити проектування схем та параметрів розколювання монолітів на блоки. Це зумовлює значні нерівності сколу граней блоків при розділенні монолітів. А отже, знижується якість блоку та підвищується трудомісткість процесу видобування (бо виникає необхідність у додаткових операціях пасирування блоків). А як наслідок, знижується коефіцієнт виходу блоків і підвищується працевіткість процесу видобування.

Анізотропні властивості гірських порід впливають не лише на процес видобування, а й на подальші процеси обробки природного облицювального каменю, зокрема на розпилювання. Так, попередніми дослідженнями встановлено [5, 6, 11], що для порід групи габро максимальна питома швидкість розпилювання спостерігається при розпилюванні порід по площинам, які співпадають з площинами постільних систем тріщин масиву. Різниця між питомими швидкостями при утворенні пропилів по площинам, що паралельні постільним системам тріщин (горизонтальні пропили), і при утворенні поздовжніх і поперечних пропилів складає відповідно 39–65 і 16–22 %. Дана закономірність підтверджується орієнтуванням найбільш слабких зерен біотиту в горизонтальній площині.

Для порід групи лабрадориту, найбільші питомі швидкості спостерігаються при утворенні поздовжніх і горизонтальних пропилів, що пов'язано з орієнтуванням у цих площинах кристалів плагіоклазу. Отже, для лабрадоритів найменшу трудомісткість розпилювання блоків одержують при суміщенні площини розпилювання з азимутом простягання і кутом падіння

поздовжніх і постільних систем тріщин масиву; для габро – при суміщенні площини розпилювання з азимутом простягання і кутом падіння постільних систем тріщин.

Дані закономірності також показують, що переміщення фронту гірничих робіт кар'єра має співпадати чи знаходитися під кутом 90° до азимуту простягання самої розвиненої системи вертикальних тріщин масиву. А відокремлення блоків має здійснюватися таким чином, щоб їх довга сторона співпадала за напрямком з азимутами і кутами падіння: для лабрадоритів – крутопадаючих поздовжніх чи постільних, для габро – постільних систем тріщин, що, в свою чергу, дає можливість знизити трудомісткість самого процесу розпилювання та собівартість розпилювання 1 м^2 порід з лабрадориту – до 13, габро – до 65 %.

Існує також суттєвий вплив анізотропних властивостей природного каменю на його декоративні властивості як облицювального матеріалу. Декоративність каменю формується структурою і текстурою гірської породи і ставить у залежність від неї процес видобування блоків та їх переробку на облицювальну продукцію. Анізотропія також впливає на повноту і якість видобутку природного облицювального каменю з максимально збереженими декоративними властивостями.

Як було зазначено, анізотропність у значній мірі залежить також від структури гірської породи. Отже, здійснюючи процес видобування з урахуванням анізотропності, можна максимально зберегти декоративні властивості природного каменю.

Значна частина лабрадоритової та габро-анортозитової сировини має цінну декоративну властивість – іризацію, тобто властивість утворювати веселкові відсвіти на поверхні каменю. Кольоровий склад, форма, концентрація та інтенсивність іризації, її зв'язок з структурно-текстурними особливостями та іншими факторами – все це складні аспекти проблеми іризації лабрадориту. Здійснюючи процес видобування з урахуванням анізотропності, можна максимально зберегти властивість лабрадоритів іризувати, бо, як зазначалося, для порід групи лабрадориту найбільші питомі швидкості спостерігаються при утворенні поздовжніх і горизонтальних пропилів, що пов'язано з орієнтуванням у цих площинах кристалів плагіоклазу, від яких і залежить іризація.

Як бачимо, не лише кількісні, а й якісні показники процесів видобування та обробки природного каменю вимагають визначення його анізотропних властивостей.

Тому пропонується методика визначення анізотропності природного каменю. Вона полягає у відборі орієнтованих зразків природного каменю з певних ділянок родовища; формуванні цифрових відеозображень цих зразків; виділенні на відеозображенні кристалів мінералів, що утворюють масив природного каменю; вимірюванні геометричних характеристик кристалів, в тому числі їх орієнтування на площині; визначення на основі результатів вимірювань анізотропних властивостей зразків природного каменю та масиву родовища в цілому [1–11].

Також на основі отриманих результатів можливі оцінка і прогнозування механічних характеристик природного каменю як будівельного матеріалу шляхом урахування його анізотропних властивостей та їх зміни на різних ділянках родовища.

Вивчення анізотропності механічних властивостей масивів природного каменю та розробка експрес-методики її визначення дає змогу обрати оптимальний напрямок проведення видобувних робіт і напрямок розділення моноліту на блоки при двостадійній схемі видобування. Оптимальним вважається такий напрямок, що забезпечує мінімізацію витрат праці й енергії на відокремлення блоків від масиву природного каменю, а також збільшення відсотку виходу блоків з масиву природного каменю, що має природну тріщинуватість (рис. 1).

Оптимальне орієнтування фронту видобувних робіт на кар'єрах природного облицювального каменю дозволяє:

- збільшити продуктивність технологічного комплексу на 10–20 %;
- досягти найменших нерівностей сколу поверхні блоку, зменшивши таким чином технологічні втрати природного каменю при видобуванні на 5–10 %;
- виключити необхідність подальшої механічної обробки блоків для надання їм правильної форми;
- зменшити трудомісткість процесу видобування блоків природного каменю;
- максимально зберегти декоративні властивості природного облицювального каменю;
- максимально зберегти іризацію лабрадоритових порід.

У результаті використання запропонованої методики досліджень анізотропності механічних властивостей природного каменю визначено азимут найкращого розколювання для ряду порід Коростенського плутону (табл. 1).

Відповідно до таблиці 1, напрям найкращого розколювання має близьке азимутальне значення з напрямком поздовжньої тріщинуватості родовищ, що можна пояснити напрямком руху магми по кристалічному щиту.

Таблиця 1

Азимуту найкращого розколювання для габроїдних порід

Родовище (порода)	Мінеральний склад породи, %	<u>Структура</u> Текстура	Характерні особливості текстури	Середній азимут лінії найкращого розколювання
Сліпчицьке (габро-норит)	Плагіоклаз – 64,0 Піроксен – 24,0 Олівін – 9,0 Біотит – 0,4 Титаномагнетит – 1,0 Акцесорні мінерали – 1,0	Габрова, <u>Полосата</u> Масивна, полощата	Полощатість пов'язана з чергуванням темнокольорних і світлих частин	109 ± 8
Головинське (лабрадорит)	Плагіоклаз – 65,0 Піроксен – 28,0 Олівін – 5,0 Біотит – 0,5 Титаномагнетит – 0,5 Акцесорні мінерали – 1,0	<u>Метасоматична</u> Масивна	Зерна плагіоклазу і піроксену мають витягнуту форму у вертикальних площинах та майже ізометричні в горизонтальній	107 ± 10
Лугове (габро-норит)	Плагіоклаз – 64,0–70 Піроксен – 20–25 Олівін – 7–9 Біотит – 0,5 Титаномагнетит – 0–1 Акцесорні мінерали – 1	Габрова, Полосата Масивна, полощата	Полощатість пов'язана з чергуванням темнокольорних і світлих частин	106 ± 10
Кам'янобрідське (лабрадорит)	Плагіоклаз – 70–80 Піроксен – 22–25 Олівін – 2–5 Біотит – 0,5 Титаномагнетит – 0–1 Акцесорні мінерали – 1	<u>Метасоматична</u> Масивна	Зерна плагіоклазу і піроксену мають витягнуту форму у вертикальних площинах та майже ізометричні в горизонтальній	103 ± 10
Кам'янобрідське (габро)	Плагіоклаз – 50–70 Піроксен – 0–25 Олівін – 0–5 Біотит – 0–5 Титаномагнетит – 0,4 Акцесорні мінерали – 1–1,5	Габрова, <u>Полосата</u> Масивна, полощата	Полощатість пов'язана з чергуванням темнокольорних і світлих частин	117 ± 10

Блочний підхід. Вартість 1 м³ блочної сировини суттєво збільшується залежно від величини (категорії) блока. А при застосуванні алмазних канатних каменерізних машин – пропили можна здійснювати в будь-якому напрямку. Тому при використанні блочного підходу основне завдання – одержати максимальну кількість блоків вищих категорій, які є найдорожчими.

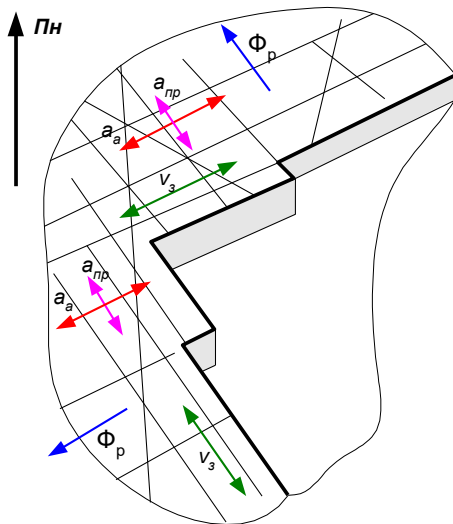


Рис. 1. Варіанти напрямків орієнтації видобувних вибоїв на родовищі габроїдних порід залежно від напрямку анізотропії та розміщення мережі тріщин
 a_a – напрямок анізотропності масиву;
 $a_{пр}$ – напрямок, перпендикулярний анізотропності масиву;
 Φ_p – напрямок фронту робіт, що пропонується;
 $v_{зх}$ – напрям заходки

Пропонується вирішення задачі у такій послідовності:

- 1) створення цифрової тривимірної моделі родовища;
- 2) поділ кар'єру на технологічні зони;
- 3) внесення в цифровій моделі родовища тріщин;
- 4) пошуку оптимального напрямку ведення гірничих робіт.

Визначення найкращого напрямку ведення гірничих робіт потрібно виконувати для кожної технологічної зони, оскільки основні параметри родовища, в т.ч. і тріщинуватість, змінюються в просторі покладу. Для Бистрівського кар'єру було виділено 2-і технологічні зони, що характеризуються уступами порівняно правильної форми.

Потім задається тріщинуватість масиву у плані для досліджувальних контурів. На вибраних ділянках були візуально визначені тріщини та розломи, що впливають на блочність каменю, та їх спрямованість (рис. 2).



Рис. 2. Закономірності розподілення основних систем тріщин на Ділянці № 1

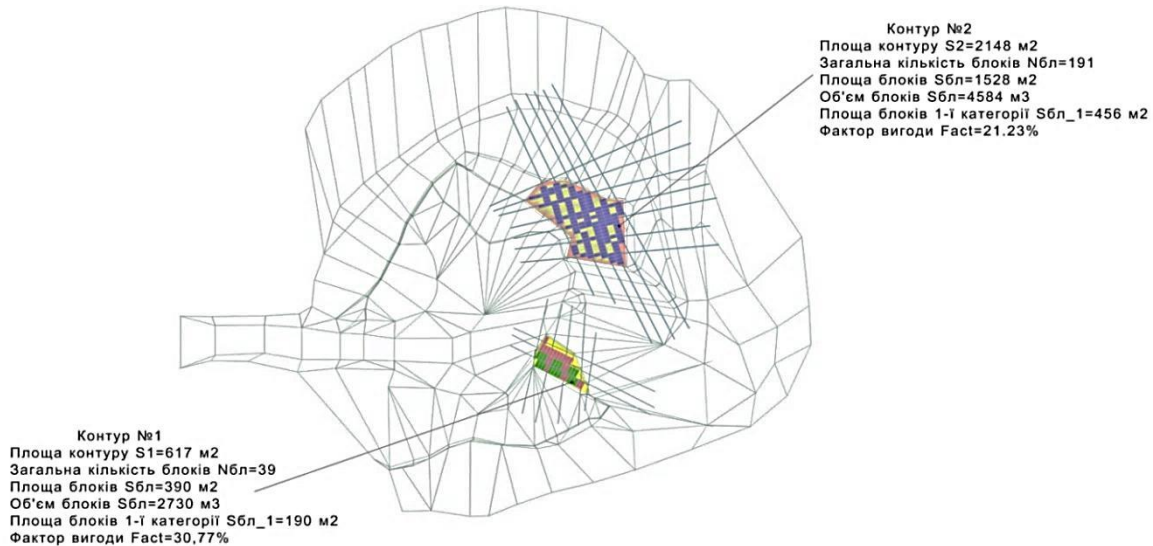
Тріщини вносяться до цифрової моделі кар'єру окремими полілініями. Оскільки координати тріщин були невідомі, їх визначили вимірюванням відстаней рулеткою від характерних точок з відомими координатами, азимуту простягання визначалися за допомогою гірничого компасу.

У результаті проведених вимірювань була отримана модель тріщинуватості, зображена на рисунку 3.

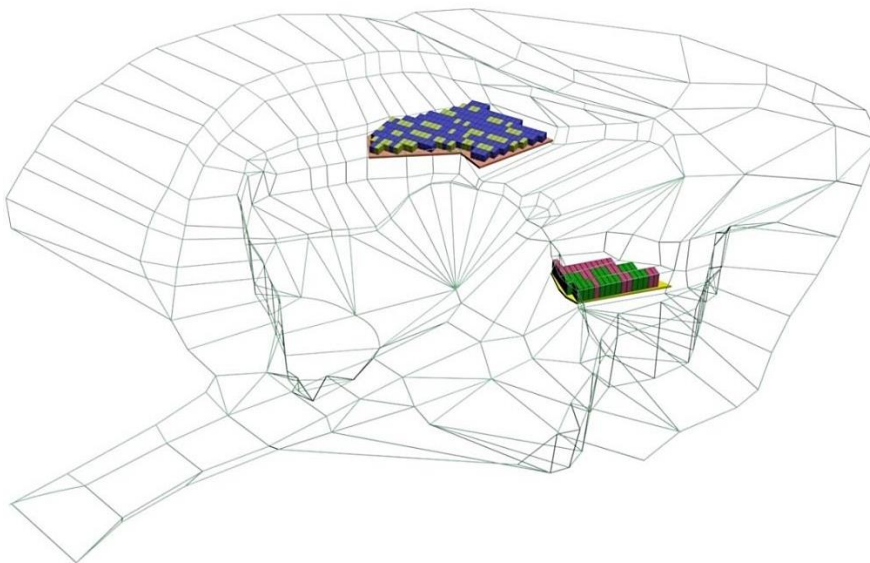
Гірничо-геометричний аналіз отриманих даних з метою пошуку оптимального напрямку ведення гірничих робіт щодо існуючої системи тріщин та обчислення основних параметрів видобувного контуру кар'єру можна виконати за допомогою програми **GEOL_DH** версії 7.936. Програма **GEOL_DH**, а саме, її модуль **GEOL_QUA** дозволяє виконувати нарізку блоків для видобування каменю в контурі з можливістю редагування розмірів стовпців або

рядів блоків, видалення блоків, редагування класу блоків, підрахунок запасів каменю за класами якості блоків.

Спочатку виконується нарізка блоків у контурі й розрахунок фактору вигоди й інших параметрів за заданими розмірами блоку. Потім розрахунок повторюється для нових розмірів блоку, збільшених на величину приросту (по довжині та/або ширині), обрану зі списку. Максимальна кількість ітерацій-кроків за кожним з розмірів також вибирається зі списку. У загальному випадку розраховується кожен розмір по довжині з кожним розміром по ширині й навпаки.



а)



б)

Рис. 3. Модель тріщинуватості для досліджуваних ділянок родовища та поділ масиву на блоки у заданому напрямку для ділянок № 1 та № 2 та визначення їх класу блочності й фактору вигоди

а – на площині; б – в просторі

Можна вказати необхідну площу блоку та кут повороту. Кут повороту контуру призначається виходячи із заданого приросту кутів повороту і числа ітерацій. Спочатку виконується розрахунок для всіх положень контуру з обертанням за годинниковою стрілкою, потім проти годинникової стрілки і нарешті за вихідним положенням контуру.

Також в діалогове вікно виводяться фінальні розміри блоку й кута повороту, а також загальне число ітерацій, за яким користувач може приблизно оцінити час, необхідний для розрахунку. Залежно від кількості ітерацій, розмірів блоку й контуру, а також продуктивності комп'ютера час підбору оптимальних параметрів може бути значний, тривалістю до декількох годин. По закінченню підбору в текстове вікно виводяться результати розрахунку за кожною ітерацією і найкращі значення їх з відповідними розмірами блоку й кута повороту контуру. У текстовому вікні Asad виводиться площа контуру, відсоток його заповнення блоками, розміри блоку, а також його площа й обсяг, а також інформація за кожною ітерацією, а саме загальна кількість елементарних блоків каменю й число блоків за класами якості, площі і об'єми блоків і їх відсоток від загальної кількості блоків, та фактор вигоди (відношення площі блоків 1-го класу до площі контуру). Також виводяться найкращі значення параметрів і відповідні їм розміри блоків (а також кут повороту, якщо задано поворот контуру). Після вибору контуру, що може співпадати з експлуатаційним контуром, або містити лише частину блоків контуру, або містити блоки з різних контурів, виводиться діалогове вікно завдання параметрів.

При аналізі отриманих даних для ділянки № 1 видно, що при її розробці оптимальним напрямком видобувних робіт щодо природної тріщинуватості буде орієнтування довжини видобуваємих монолітів під кутом 15° за годинниковою стрілкою до прийнятого орієнтування за поздовжніми тріщинами. Оскільки азимут простягання поздовжніх тріщин на досліджувальній ділянці $\alpha_n = 78$, азимут оптимального напрямку буде рівний $\alpha_{\text{опт.1}} = 78 + 15 = 93$. При прийнятому напрямку розробки фактор вигоди **Fact. %** = 30,77 %, (для порівняння, при спрямуванні фронту робіт вздовж азимуту простягання поздовжніх тріщин **Fact. %** = 4,86 %). Тобто за рахунок зміни напрямку видобувних робіт кількість якісніших і дорожчих блоків зросла більше ніж у 6 разів, що свідчить про ефективність аналізу тріщинуватості масиву у даний спосіб. Для ділянки № 2 при зменшенні азимуту напрямку на 10° $\alpha_{\text{опт.2}} = 35 - 10 = 45$ отримано **Fact. %** = 27,19 % проти 20,86 % при початковому напрямку.

Як видно з результатів розрахунку, при дотриманні оптимального напрямку порівняно з прийнятим на підприємстві за прогнозований вихід блоків 1-го класу зростає з 140 м^3 до 1330 м^3 , що доводить потребу і ефективність даного алгоритму для визначення напрямку ведення гірничих робіт з метою підвищення раціональності використання сировини родовища і покращення його техніко-економічних показників.

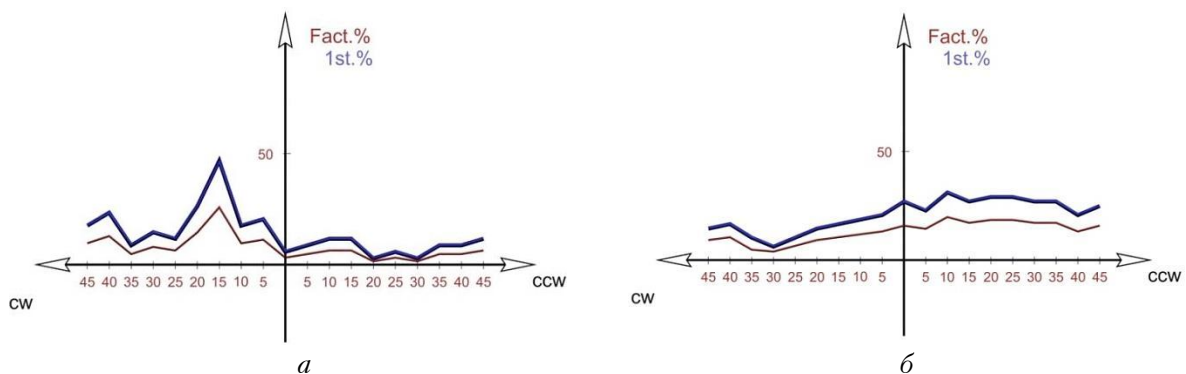


Рис. 4. Графік залежності фактору вигоди та виходу блоків 1-го класу від зміни кута повороту контуру при розробці:
а – ділянки № 1; б – ділянки № 2

На рисунку 4 наведена залежність зміни фактору вигоди та найкращого співвідношення блоків 1-го класу від кута повороту напрямку розробки для ділянок № 1 та № 2. Графік показує, що при комплексному аналізі масиву фактор вигоди не має прямої залежності від напрямку розвитку гірничих робіт відносно азимуту простягання природної тріщинуватості, а виражається ламаною кривою, причому для кожного контура різною. Це пояснюється тим, що при формуванні блочності масиву приймають участь й інші системи тріщин, просторове положення яких також обмежує розміри блоків і може дещо змінюватися в різних частинах родовищах.

Декоративний підхід. Крім розглянутих вище способів, необхідно брати й до уваги й декоративний підхід. Сучасні інформаційно-комп'ютерні технології дають можливість чітко визначати необхідні або задані властивості [9]. Декоративність суттєво змінюється відповідно до напрямку відпрацювання родовища.

Схема досліджень поверхні зразків гірських порід на основі інформаційно-комп'ютерних технологій містить апаратні та програмні засоби, які взаємодіють з об'єктом досліджень. В даній схемі об'єкт досліджень – це зразки гірської породи, що досліджуються. Отримання корисної інформації про об'єкт досліджень здійснюється шляхом формування цифрового відеозображення поверхні цього об'єкта. Далі на відеозображенні вимірюються колориметричні та геометричні характеристики структурних елементів поверхні об'єкта.

Геометричні вимірювання структурних елементів поверхні здійснюються на основі визначення для дискретних точок відеозображення розбіжностей за яскравістю (для ахроматичних поверхонь гірських порід) або розбіжностей за кольором (для хроматичних поверхонь гірських порід). Ці виміри включають визначення поперечних розмірів, периметру, площі, показників форми, орієнтації в просторі та взаємного розташування для структурних елементів поверхні.

Колориметричні вимірювання містять визначення однієї з стандартних колориметричних схем, найбільш придатної для проведення вимірювань, визначення показників кольору в обраній колориметричній схемі для окремих дискретних точок цифрового відеозображення, для структурних елементів поверхні об'єкта та для певних зон, виділених на поверхні об'єкта. Найбільш доцільно використовувати одну з колориметричних схем, яка дозволяє окремо обробляти значення яскравості та кольору дискретних точок відеозображення, наприклад колориметричні схеми HSV або LAB.

Колориметричні вимірювання також можуть бути складовою частиною геометричних вимірювань, оскільки структурні елементи поверхні відрізняються один від одного і від фону для хроматичної поверхні гірських порід за кольором. Тому в цьому випадку колориметричні вимірювання є складовою частиною (підготовчим етапом) проведення геометричних вимірювань на відеозображеннях гірських порід.

Проведення вимірювань базується на таких принципах:

1. Використання стандартних апаратних засобів формування і обробки цифрових відеозображень. Ці засоби є досить досконалими і складними технічними виробами, що задовольняють основним вимогам задач, які розглядаються.
2. Використання алгоритмічної обробки вимірювальної відеоінформації й забезпечення на цій основі потрібних характеристик засобів вимірювань.
3. Пошук і вибір потрібних параметрів алгоритмів цифрової обробки відеозображень, виходячи з особливостей задачі дослідження зразків гірських порід.
4. Застосування стиснення відеозображень, без якого неможлива реєстрація та введення в комп'ютер великого обсягу відеоінформації, а також неможливе компактне зберігання цього обсягу відеоінформації.

Процес вимірювань та обробки отриманих результатів забезпечується роботою апаратних засобів (цифровий фотоапарат або планшетний сканер та комп'ютер) і програмного забезпечення (універсальні та спеціалізовані програми), в якому реалізовано потрібні алгоритми цифрової обробки відеозображень. Основними апаратними засобами формування відеозображень є сканери, цифрові фотоапарати та цифрові відеокамери.

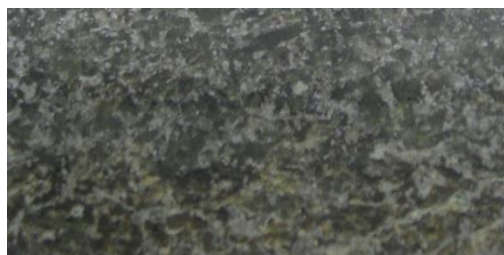


Рис. 5. Відеозображення зразки з північного вибою Торчинського кар'єру

Для проведення вимірювань нами були відібрані орієнтовані зразки з північного та південного вибоїв Торчинського кар'єру згідно з вимогами, наведеними в [9]. Приклад результатів вимірювань геометричних та колориметричних величин для цих зразків наведено на рисунках 1–3.

Результати вимірювань дозволяють зробити такі висновки відносно генезису та структури гірських порід.

Існують різні типи орієнтованих структур залежно від умов кристалізації магми. Наприклад, деформація плагіоклазів An30-An96 при 800 °С та 0,1 ГПа всебічного тиску проявляється переважно у вигляді двійникування за альбітовим та периклиновому законам. При температурах нижче 800 °С двійникування не спостерігається. Відомо і доведено за геологічними спостереженнями, що польові шпати дають орієнтування за формою сплосчених по {010} граней, за якими виникають двійники за альбітовим законом. Часто кристали плагіоклазів фіксують в магматичних породах ділянки ламінарного руху магми або елементи верстуватості тих порід, які вона заміщувала. Олівін у результаті деформації набуває деформаційної пластинчастості і при швидкості деформації 10–14 м·с⁻¹ перекристалізація починається при 500 °С. Присутність води збільшує дифузію і призводить до збільшення розмірів зерен олівіну. Свої особливості розподілу в породі та деформації мають також рудні мінерали.

В результаті аналізу отриманих колориметричних діаграм нами були виявлені певні особливості декоративності габро. Для зразків усіх трьох напрямків габро має чітко виражену зелену складову, яка дещо менше себе проявляє в площині, орієнтованій перпендикулярно до площини пластової тріщини. Це можна пояснити закономірностями розповсюдження вторинної мінералізації від тріщини в усіх напрямках. Відомо, що на родовищах габроїдних порід часто відбувається амфіболізація піроксенів, заміщення їх епідотом та іншими вторинними мінералами тощо. Максимальна насиченість кольорів в усіх трьох напрямках зміщується в бік значень показника ~0,3. Це спостерігається для зразків із південного і північного вибоїв. Однак при появі іризації, що характерне для зразків 1 та 2 (площина, паралельна площині пластових тріщини та пластова площина), показники кольорового тону зміщені в бік зелено-синьої складової, але частково простежується і червона складова. Для цих же зразків характерний досить складний розподіл насиченості (максимум припадає на область значень 0,3–0,4).

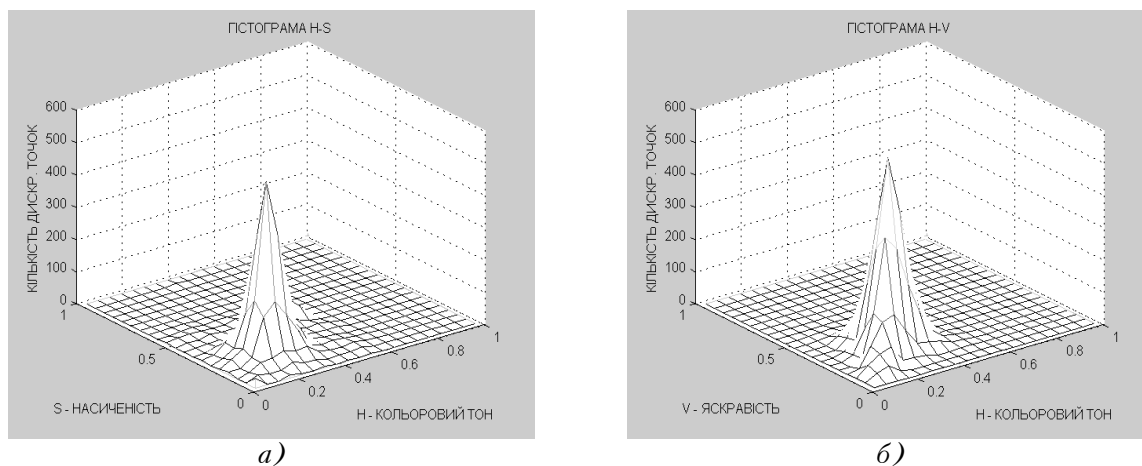


Рис. 6. Діаграми декоративності

Іризація найкраще проявлена саме в цих перерізах. Це свідчить про більшу декоративність породи в даних напрямках. Максимальні показники яскравості тяжіють до значень 0,2 для всіх проаналізованих зразків. Особливо чітко це простежується на гістограмах Н-S та Н-V (рис. 6), які є більш наочними для порівняння особливостей декоративності різних зразків (ділянок) одного родовища.

Висновки. Вивчення анізотропності механічних властивостей масивів природного каменю та розробка експрес-методики її визначення дає змогу вибрати оптимальний напрямок проведення видобувних робіт і напрямок розділення моноліту на блоки при двостадійній схемі

видобування. Оптимальним вважається такий напрямок, що забезпечує мінімізацію витрат праці й енергії на відокремлення блоків від масиву природного каменю, а також збільшення відсотку виходу блоків з масиву природного каменю, що має природну тріщинуватість. Однак при цьому не завжди можливо забезпечити максимальний вихід блочної сировини з масиву.

При дотриманні оптимального напрямку порівняно з прийнятим на підприємстві за прогнозований, вихід блоків 1-го класу суттєво зростає, що доводить потребу і ефективність алгоритму для визначення напрямку ведення гірничих робіт з метою підвищення раціональності використання сировини родовища і покращення його техніко-економічних показників. Однак при цьому не беруть до уваги витрати (енергії, інструменту, нерівності сколів) на видобування блочної сировини.

Завдання же декоративного підходу – одержати блоки з заданими показниками декоративності (які не завжди будуть максимальні; наприклад, чітко визначені, для потреб реставраторів).

Остаточне ж рішення, що до напрямку здійснення видобувних робіт, необхідно приймати після комплексного аналізу для забезпечення максимального прибутку підприємства.

Список використаної літератури:

1. *Левицький М.Г.* Обґрунтування оптимальних технологічних параметрів видобування гранітних блоків на основі показників тріщинуватості / *М.Г. Левицький, Р.В. Соболевский* // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014, № 3 (69). – С. 48–52.
2. *Вацук О.* Обґрунтування методики підрахунку об'ємів складів готової продукції бутощебеневої сировини / *О.Вацук, Р.Соболевский* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2012. – 4 (63). – С. 174–182.
3. *Коробійчук В.В.* Определение рационального способа извлечения монолитов камня при проведении капитальных траншей / *В.В. Коробійчук, С.С. Іськов* // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков : Технологический Центр, 2013. – № 5/1 (13). – С. 12–16.
4. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing / *V.Korobiichuk, V.Shamrai, O.Iziumova, O.Tolkach, R.Sobolevskiy* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – 4/5 (82). – Pp. 52–57.
5. *Коробійчук В.В.* Дослідження тріщинуватості Лезниківського родовища гранітів з перспективою видобутку блочної продукції / *В.В. Коробійчук* // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков : Технологический центр, 2013. – Вып. № 6/5 (66). – С. 23–28.
6. *Криворучко А.О.* Розробка узагальненої методики геометризації масивів природного каменю з метою отримання комплексної моделі родовища / *А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, С.С. Іськов* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2012. – № 4 (63). – С. 190–202.
7. *Коробійчук В.В.* Оцінка результатів дослідження залежності параметрів пружних хвиль від тиску в зразках природного декоративного каменю / *В.В. Коробійчук* // Вісник Нац. техн. ун-ту України «КПІ» / Серія «Гірництво» : зб. наук. пр. – К. : НТУУ «КПІ» : ЗАТ «Техновибух», 2012. – Вип. 22. – С. 101–105.
8. *Толкач О.М.* Визначення основних критеріїв якості пірофілітових сланців / *О.М. Толкач, Р.В. Соболевський, С.С. Іськов* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2011. – № 2 (57). – С. 170–176.
9. *Іськов С.С.* Формування забарвлення декоративного каменю. Частина 2. Штучне забарвлення кам'яних виробів / *С.С. Іськов, А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Г.М. Ломаков* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2011. – № I (56). – С. 100–108.
10. 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. – Vol. 114, 1 July. – 2016. – Pp. 241–247.
11. Peculiarities of natural stone extraction technology with the help of diamond wire machines / *I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, S.Iskov, M.Nowicki, R.Szewczyk* // 16 th

References:

1. Levytskyi, V. and Sobolevskyi, R. (2014), “Obg'runtuvannja optimal'nyh tehnologichnyh parametriv vydobuvannja granitnyh blokiv na osnovi pokaznykiv trishhynuvatosti” [Substantiation of optimal technological parameters of granite blocks mining taking into account indicators of fracturing], *East European Journal of Modern Technologies*, No. 3 (69), pp. 48–52.
2. Vashchuk, O. and Sobolevskyi, R. (2012), “Obg'runtuvannja metodyky pidrahunku ob'jemiv skladiv gotovoi' produkci' butoshhebenevoi' syrovyny” [Substantiation of methods to estimate storehouse volume of finished quarry stone raw material], *Bulletin ZSTU. Engineering*, No. 4 (63), pp. 174–182.
3. Korobijchuk, V.V. and Iskov, S.S. (2013), “Opredelenie ratsional'nogo sposoba izvlecheniya monolitov kamnya pri provedenii kapital'nykh transhey” [Definition of rational method of extraction of stone monoliths for capital trenches], *Technology audit and production reserves*, Vol. 5/1 (13), pp. 12–16.
4. Korobijchuk, V., Shamrai, V., Iziunova, 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.
5. Korobijchuk, V. (2013), “Doslidzhennja trishhynuvatosti Leznykivs'kogo rodovyshha granitiv z perspektyvoju vydobutku blochnoi' produkci'” [Research fractured Leznykivsky granite deposits with the prospect of quarrying of natural stone], *East European Journal of Modern Technologies*, Vol. 6/5 (66), pp. 23–28.
6. Krivoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V. and Iskov, S.S. (2012), “Rozrobka uzagal'nenoi' metodyky geometryzaci' masviv pryrodnogo kamenju z metoju otrymannja kompleksnoi' modeli rodovyshha” [The development of generalized methodology for geometrization of natural stone array to obtain a comprehensive model of the deposit], *Bulletin of Zhytomyr State Technological University. Technical science*, Vol. 4 (63), pp. 190–202.
7. Korobijchuk, V. (2012), “Ocinka rezul'tativ doslidzhennja zalezhnosti parametriv pruzhnyh hvyl' vid tysku v zrazkah pryrodnogo dekoratyvnogo kamenju” [Evaluation of study according to the parameters of elastic waves of pressure in samples of natural decorative stone], *Herald of the National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”. Series of Mining*, Vol. 22, pp. 101–105.
8. Tolkach, O.M., Sobolevskyi, R.V. and Iskov, S.S. (2011), “Vyznachennja osnovnyh kryterii'v jakosti pirofilitovyh slanciv” [Defining the criteria for quality pyrophyllite schists], *Bulletin of Zhytomyr State Technological University. Technical science*, Vol. 2 (57), pp. 170–176.
9. Iskov, S.S., Krivoruchko, A.A., Korobijchuk, V.V. and Lomakov, G.N. (2011), “Formuvannja zabarvlennja dekoratyvnogo kamenju. Chastyna 2. Shtuchne zabarvlennja kam'janyh vyrobiv” [Formation of decorative stone colour. Part 2. Artificial colour of stone production], *Bulletin of Zhytomyr State Technological University. Technical science*, Vol. 1 (56), pp. 100–108.
10. Korobijchuk, I., Korobijchuk, 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.
11. Korobijchuk, I., Korobijchuk, V., Iskov, S., Nowicki, M. and Szewczyk, R. (2016), “Peculiarities of natural stone extraction technology with the help of diamond wire machines”, *Proceedings of the 16-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining, Book 1*, Vol. II, pp. 649–657.

КРИВОРУЧКО Андрій Олексійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерія.

КОРОБІЙЧУК Валентин Вацлавович – кандидат технічних наук, доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. М.Т. Бакка Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- будівельні матеріали;
- комп'ютерні технології.

СОБОЛЕВСЬКИЙ Руслан Вадимович – кандидат технічних наук, доцент кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- будівельні матеріали.

КАМСЬКИХ Олександр Валерійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. М.Т. Бакка Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво.

ПАВЛЮК Ірина Володимирівна – аспірант кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2016.