

А.О. Криворучко, к.т.н., доц.
В.Г. Левицький, к.т.н., доц.
Г.В. Скиба, к.т.н., доц.
С.В. Кальчук, к.т.н., доц.
С.М. Шишко, аспірант

Державний університет «Житомирська політехніка»

Геометризація структурних елементів Південної ділянки Бистріївського родовища габро з метою визначення раціональних напрямів розробки

У статті розглянуто питання геометризації структурних елементів покладу габро з метою вдосконалення процесів його геолого-економічної оцінки та визначення оптимальних напрямів розробки. Основною метою дослідження є створення просторових моделей родовища, що відображають закономірності поширення основних структурних елементів, таких як тектонічні порушення, шаруватість, жильні утворення, зони тріщинуватості та інші морфологічні неоднорідності, що впливають на фізико-механічні властивості гірської породи та габроїдних порід зокрема. У роботі акцентовано увагу на вивченні орієнтації та просторового взаєморозташування структурних елементів, які визначають умови залягання габро, ступінь його тріщинуватості та потенційну продуктивність при видобутку. Запропоновано комплекс методичних підходів до геометризації структурних елементів із застосуванням геоінформаційних систем (ГІС) та комп'ютерного моделювання, що дозволяє підвищити точність інтерпретації польових та камеральних геологічних даних. Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації проектування гірничотехнічних заходів, що враховують просторову структуру родовищ природного каменю, з метою підвищення економічної ефективності та технологічної доцільності розробки родовищ габро з мінімізацією втрат та забезпеченням стабільної якості сировини.

Ключові слова: габро; геометризація; тріщинуватість природного каменю; блочний камінь.

Вступ. У сучасних умовах розвитку гірничодобувної промисловості підвищення ефективності видобутку природного каменю передбачає впровадження геоінформаційних технологій для оптимізації гірничих робіт. Особливої уваги вимагає детальне вивчення структурної будови родовищ декоративного каменю, зокрема габро, які широко використовуються у будівництві та виробництві облицювальних матеріалів.

Південна ділянка Бистріївського родовища габро є перспективною для промислової розробки, однак її ефективне освоєння залежить від ретельного аналізу структурних елементів, таких як тріщинуватість, орієнтація тектонічних порушень, зональні відмінності у складі та текстурі порід. Ці фактори визначають як якість добутої продукції, так і економічні втрати при видобутку та переробці. Відсутність повної просторової моделі розташування структурних елементів ускладнює проектування гірничих робіт і може призводити до нераціонального використання ресурсів.

Актуальність тематики дослідження обумовлена необхідністю впровадження геометризації структурних елементів як основи для прийняття техніко-економічно обґрунтованих рішень щодо подальшої розробки родовища. Геометризація дозволяє не лише підвищити точність оцінки гірничо-геологічних умов, а й забезпечити вибір найбільш доцільних напрямів ведення гірничих робіт з урахуванням природної анізотропії порід. Такий підхід сприяє зменшенню втрат цінного матеріалу, підвищенню якості видобутого габро та загальної рентабельності виробництва.

Отже, **актуальність та необхідність даної тематики** є очевидними.

Аналіз літературних джерел. Цифрова геометризація на сьогодні є одним із найперспективніших і найефективніших методів просторового аналізу геохімічних полів. Вона ґрунтується на використанні комп'ютерних технологій та геоінформаційних систем (ГІС), що дає змогу будувати високоточні дво- та тривимірні цифрові моделі геохімічних параметрів досліджуваної території. Завдяки цьому методу стало можливим комплексне представлення розподілу елементів або сполук у товщі гірських порід, а також виявлення закономірностей їхнього просторового поширення [1–9].

При побудові цифрових моделей застосовуються як універсальні, так і спеціалізовані ГІС-платформи, що забезпечують ефективну обробку, систематизацію, інтерполяцію та візуалізацію великого масиву геолого-геохімічної інформації. Ці інструменти дозволяють точно відображати морфологію та структуру геохімічного поля, визначати зони аномалій, прогнозувати тенденції поширення речовин і моделювати динаміку геохімічних процесів у просторі [4–9].

У межах цього дослідження було використано результати геологічної розвідки та натурних спостережень, що проводилися в період з 1990 по 2025 роки. Отримані дані лягли в основу геометризації структурних елементів Бистріївського родовища.

Мета роботи – встановлення просторового розподілу структурних елементів Південної ділянки Бистріївського родовища габро для обґрунтування раціональних напрямів її подальшої розробки.

Об'єкт дослідження – процес геометризації структурних елементів покладу габро Бистріївського з метою визначення раціональних напрямів ведення видобувних робіт.

Основні завдань дослідження:

1. Виділити та класифікувати основні структурні елементи гірських порід (тріщинуватість, тектонічні порушення, зональність тощо), що впливають на умови залягання та технологічність видобування габроїдів;
2. Побудувати просторову модель розташування структурних елементів із використанням інформаційних технологій;
3. Встановити взаємозв'язок між структурною будовою родовища (масиву) та можливими втратами корисної копалини під час видобутку;
4. Обґрунтувати раціональні напрями розробки родовища з урахуванням просторової неоднорідності порід і гірничо-геологічних умов.

Викладення основного матеріалу. Бистріївське родовище становить собою частину крупного масиву кристалічних порід основного складу. Воно характеризується простою геологічною будовою та експлуатується за допомогою відкритої розробки (кар'єр), гірничо-геологічні і гідрогеологічні умови – задовільні.

Незмінене габро є корисною копалиною, як блоковий камінь придатне для виготовлення декоративно-облицювальної продукції, характеризується відносно невисокою тріщинуватістю, витриманим складом і якістю корисної копалини, що дає можливість оцінити її за промисловою категоріями А+В+С₁.

Породи кристалічного фундаменту району проведення робіт належать до габро-анортозитової формації. Територіально район розташований у межах Володарськ-Волинського масиву основних порід (габроїдів). Характерною та специфічною особливістю цього масиву є його чітко виражена зональна будова. Саме центральна частина складена крупно- та гігантозернистими анортозитами і габро-анортозитами, серед яких трапляються невеликі тіла габро та лабрадоритів. У напрямку до периферії породи поступово збагачуються темнокольоровими мінералами, переходячи у габро, габро-норити та норити, що при контакті з вмішувочими їх гранітами трансформуються вже в габро-монцоніти (типу волинітів) та монцоніти.

Просторове розташування відмін габроїдів масиву відображає диференціацію первинного магматичного розплаву й одночасно відображає окремі етапи формування масиву. Існують різні погляди щодо послідовності формування основних порід. Згідно з А.А. Полкановим, розвиток масиву відбувався у два основні етапи: на першому етапі сформувалися породи крайового комплексу (габро, габро-норити, габро-діабази), а на другому – крупно- та гігантозернисті породи центральної частини, представлені габро-анортозитами, анортозитами і лабрадоритами. Відносно низький ступінь тріщинуватості основних порід району створює сприятливі умови для видобутку великих монолітних блоків.

За результатами геологознімальних, геофізичних, аерофотозйомочних робіт, а також на основі геоморфологічного аналізу та даних буріння, у межах району виявлено круто падаючі тектонічні порушення та зони розломів переважно північно-західного, північно-східного та, дещо рідше, субмеридіонального простягання.



Рис. 1. Дослідження тріщинуватості габро Південної ділянки Бистріївського родовища

У процесі проведення польових робіт було здійснено дослідження тріщинуватості габро Південної ділянки Бистріївського родовища (рис. 1). Для цього на верхньому та нижньому уступах південної ділянки було проведено масові заміри орієнтації тріщин (рис. 2). Після збору первинних даних виконувалася камеральна обробка геологічної документації з метою визначення просторових закономірностей розташування та орієнтації природної тріщинуватості габро Бистріївського родовища (рис. 3).

Усі виявлені тріщини в стінках кар'єру було класифіковано на три основні групи:

- первинна тріщинуватість та хаотично орієнтовані тріщини;
- упорядковано орієнтовані групи (системи) тріщин.

Перша група характеризується хаотичним розташуванням тріщин у просторі, що обумовлено природними процесами охолодження габро. Зменшення об'єму матеріалу призводить до виникнення зусиль розтягу, які й сприяють утворенню тріщин. Ці тріщини є результатом фізико-хімічних процесів охолодження та не мають чіткої орієнтації в просторі.

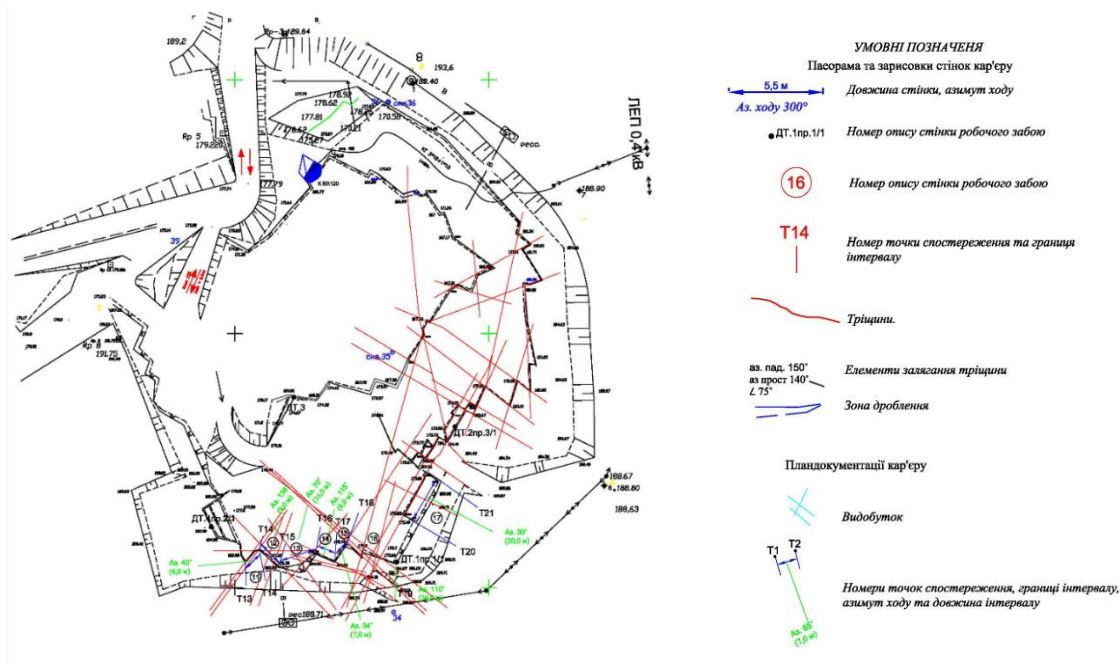


Рис. 2. Структура тріщин Південної ділянки Бистріївського родовища

Дві наступні групи тріщин утворюються під впливом зовнішніх тектонічних чинників, що дає змогу припустити їх спряженість. Ці групи тріщин мають чітко виражену орієнтацію, часто утворюючи системи, де тріщини перетинаються під певними кутами. Таке розташування може свідчити про їх утворення в єдиному полі напружень. Спряженими є тріщини, що мають спільні напрямки переміщення та витримані кути перетину. Більшість цих тріщин характеризуються доволі крутими або субвертикальними кутами падіння.

Цікавою є відсутність слідів зсувних переміщень у площинах цих тріщин, незважаючи на їх очевидну спряженість. Для точного визначення орієнтації векторів головних нормальних напружень було важливо врахувати орієнтацію слідів ковзання в площинах тріщин, а також здійснити графічні побудови.

У випадку, коли переміщення крил тріщин не були виявлені і пластичні деформації порід незначні (що характерно для габро Бистріївського родовища), вісь стиснення зазвичай приймається за бісектрису гострого кута між площинами тріщин, а вісь розтягу – за бісектрису тупого кута між цими площинами.

Першим етапом графічної обробки даних при аналізі тріщинної тектоніки було побудовано діаграму тріщинуватості. Для цього використовувалася стереографічна проекція, на основі якої були створені кругові діаграми тріщинуватості (рис. 4).

На діаграмі видно, що майже всі заміряні тріщини групуються в чотири основні максимуми. Полюси тріщин, які утворюють ці максимуми, розташовані на протилежних кінцях діаметрів великого кола. Це свідчить про наявність однієї тектонічної системи, що складається з двох серій спряжених тріщин – № 1 та № 2. Варіація елементів залягання в межах кожної серії тріщин незначна.

У таблиці 1 наведено основні елементи залягання основних максимумів чотирьох груп виходів тріщин на верхній півсфері стереографічної діаграми. Ці дані надають важливу інформацію для подальшого аналізу тріщинної тектоніки та оцінки її впливу на експлуатаційні характеристики родовища.

Елементи залягання чотирьох груп максимумів виходів тріщин на верхню півсферу

№ групи	I	II	III	IV
Азимут падіння, град.	26°	330°	130°	160°
Кут падіння, град.	82°	84°	86°	88°

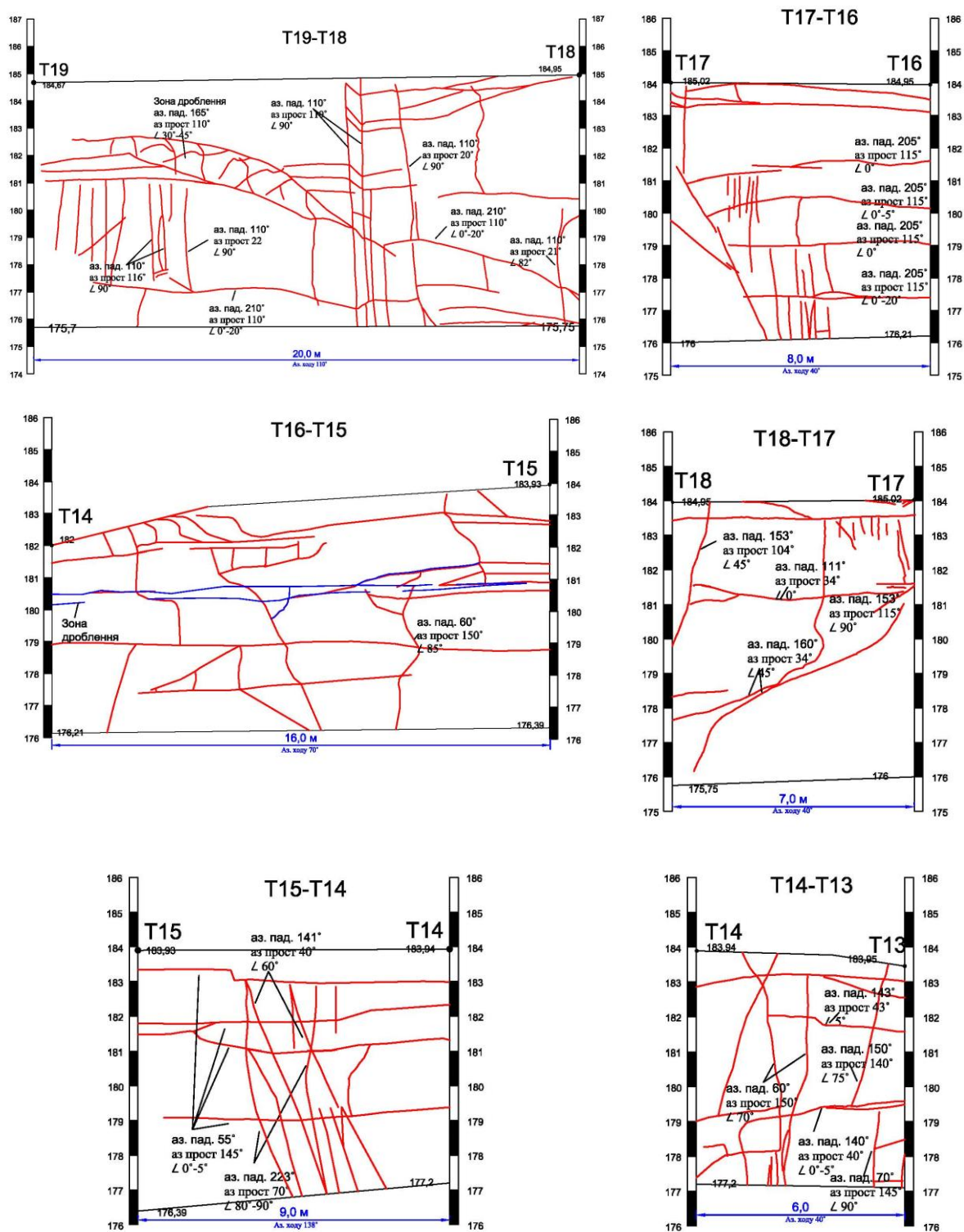


Рис. 3. Картування тріщинуватості

З метою реконструкції динамічного поля, що викликало появу спряжених тріщин у породах, було застосовано метод визначення орієнтування осей напружень по двох спряжених тріщинах М.В. Гзовського. За попередньо визначеними елементами залягання максимумів полюсів виходів тріщин на кругових діаграмах відбудовано лінії простягання систем тріщин та самі площини тріщин.

Характер тріщинуватості незмінених габро дозволяє одержувати блоки близькі до прямокутній форми.

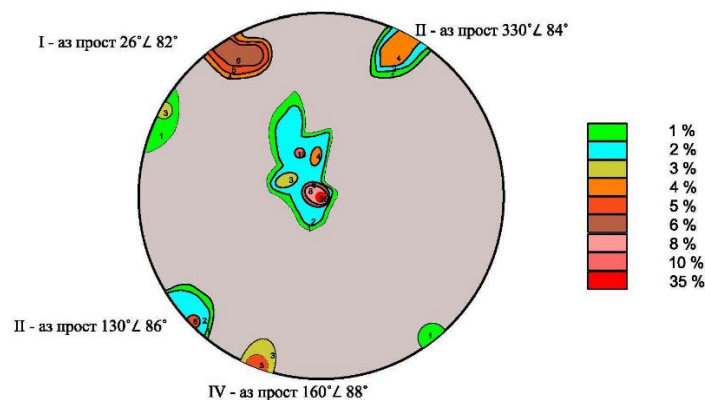


Рис. 4. Зведена діаграма тріщинуватості для уступів Південної ділянки Бистрівського кар'єру

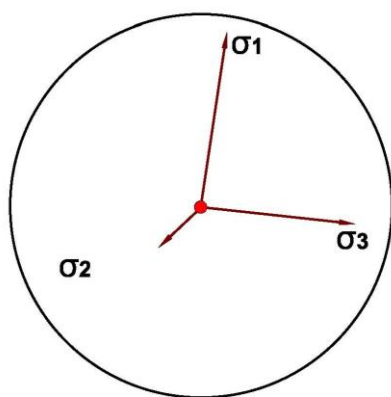
За побудовою визначено орієнтацію осей середніх за значенням головних нормальних напружень σ_2 . Бісектриса гострого кута між площинами тріщин збігається з віссю максимальних стиснень σ_1 , а бісектриса тупого кута відповідає осі максимальних розтягнень σ_3 . Елементи залягання осей головних нормальних напружень наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Елементи залягання осей головних нормальних напружень.

Осі головних нормальних напружень	Вісь стиснення, σ_1 (азимут падіння; кут падіння)	Нейтральна вісь, σ_2 (азимут падіння; кут падіння)	Вісь розтягу, σ_3 (азимут падіння; кут падіння)
Серії тріщин № 1 та № 2	183; 4°	70; 80°	272; 11°

На рисунку 5 зображено зведену діаграму орієнтації векторів головних нормальних напружень, реконструйованих по верхньому та нижньому уступах Південної ділянки Бистрівського родовища. Аналіз зазначеної діаграми показує, що площини систем спряжених тріщин орієнтовані дзеркально одна до одної. Цей факт впевнено підтверджує думку про те, що в усіх кар'єрах переважає тріщинуватість одного етапу – одна система з двох спряжених між собою серій тріщин.



1 група азимут падіння 26°; кут 82°
2 група азимут падіння 360°; кут 84°

σ_1 = азимут падіння 183°; кут 4°
 σ_2 = азимут падіння 70°; кут 80°
 σ_3 = азимут падіння 272°; кут 11°

Рис. 5. Діаграма орієнтації векторів головних нормальних напружень

Висновки:

1. У результаті дослідження просторової будови Південної ділянки Бистрійського родовища габро було встановлено складну зональну структуру масиву з чітко вираженими тектонічними порушеннями, які мають північно-східне та північно-західне простягання;
2. Встановлено, що наявність густої сітки розломів і зон підвищеної тріщинуватості в окремих частинах ділянки знижує перспективність цих зон для видобутку монолітних блоків габро та вимагає коригування плану гірничих робіт;
3. Запропоновані напрями раціональної розробки враховують структурну анізотропію порід та спрямовані на зменшення техногенних втрат, підвищення якості видобутого матеріалу і безпечне ведення гірничих робіт;
4. Використання інформаційно-комп'ютерних технологій при геометризації структурних елементів дозволяє значно підвищити точність інтерпретації геологічних даних і є ефективним інструментом для планування подальших стадій розробки родовища;
5. Аналіз показує, що площини систем спряжених тріщин орієнтовані дзеркально одна до одної. Цей факт впевнено підтверджує думку про те, що в усіх кар'єрах переважає тріщинуватість одного етапу – одна система з двох спряжених між собою серій тріщин.

Список використаної літератури:

1. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій для дослідження гірничо-геологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, О.О. Ремезова, Ю.О. Подчашинський // Вісник ЖДТУ. – 2007. – № 1. – С. 186–195.
2. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеоінформації в гірничо-геологічній галузі / А.О. Криворучко, Є.С. Купкін, Ю.О. Подчашинський, О.О. Ремезова // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2005. – № 1 (32). – С. 107–116.
3. Визначення анізотропності та механічних властивостей природного каменю за допомогою інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеозображень (на прикладі габроїдних порід Коростенського плутону) / А.О. Криворучко, Ю.О. Подчашинський, О.О. Ремезова, В.О. Шлапак // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2005. – № 4 (35). – С. 128–134.
4. Levytskyi V. The optimization of technological mining parameters in a quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement / V.Levytskyi, R.Sobolevskyi, V.V. Korobiichuk // Rudarsko-geološko-naftni zbornik. – 2018. – Vol. 33, № 2. – P. 83–90.
5. Peculiarities of natural stone extraction technology with the help of diamond wire machines / I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, S.Iskov and other // 16 th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Book 2. Exploration and mining mineral processing. – 2016. – Vol. 2. – P. 649–656.
6. Price M. Strike It Rich with Maplex. Labeling oriented structure point labels in ArcGIS 10.1 / M.Price // Winter. – 2013. – P. 42–47.
7. Бакка М.Т. Гірничо-геометричне планування гірничих робіт на родовищах облицювального каменю для збільшення коефіцієнту виходу блочної сировини / М.Т. Бакка, В.В. Котенко // Вісник КТУ. – 2005. – Вип. 9. – С. 20–23.
8. Іськов С.С. Геометризація якісних показників покладів гранітоїдних і габроїдних декоративних каменів : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.01 / С.С. Іськов. – Житомир : Житомирський держ. техн. ун-т, 2008. – 202 с.
9. Коробійчук В.В. Удосконалення системи поточного планування видобування блоків природного каменю / В.В. Коробійчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки. – 2012. – № 3 (62). – С. 122–125.

References:

1. Kryvoruchko, A.O., Korobiichuk, V.V., Remezova, O.O. and Podchashynskyi Yu.O. (2007), «Zastosuvannia informatsiino-kompiuternykh tekhnolohii dlia doslidzhennia hirnycho-heolohichnykh osoblyvostei rodovyskh rudnykh i nerudnykh korysnykh kopalyn», Visnyk ZhDTU, No. 1, pp. 186–195.
2. Kryvoruchko, A.O., Kupkin, Ye.S., Podchashynskyi, Yu.O. and Remezova, O.O. (2005), «Zastosuvannia informatsiino-kompiuternykh tekhnolohii obrobky videoinformatsii v hirnycho-heolohichnii haluzi», Visnyk ZhDTU, Tekhnichni nauky, No. 1 (32), pp. 107–116.
3. Kryvoruchko, A.O., Podchashynskyi, Yu.O., Remezova, O.O. and Shlapak, V.O. (2005), «Vyznachennia anizotropnosti ta mekhanichnykh vlastyvostei pryrodnoho kameniu za dopomohoiu informatsiino-kompiuternykh tekhnolohii obrobky videozobrazhen (na prykladi habroidnykh porid Korostenskoho plutonu)», Visnyk ZhDTU, Tekhnichni nauky, No. 4 (35), pp. 128–134.
4. Levytskyi, V., Sobolevskyi, R. and Korobiichuk, V.V. (2018), «The optimization of technological mining parameters in a quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement», Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 33, No. 2, pp. 83–90.
5. Korobiichuk, I., Korobiichuk, V., Iskov, S. et al. (2016), «Peculiarities of natural stone extraction technology with the help of diamond wire machines», 16 th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining, Book 2. Exploration and mining mineral processing, Vol. 2, pp. 649–656.
6. Price, M. (2013), «Strike It Rich with Maplex. Labeling oriented structure point labels in ArcGIS 10.1», Winter, pp. 42–47.

7. Bakka, M.T. and Kotenko, V.V. (2005), «Hirnycho-heometrychne planuvannia hirnychkykh robot na rodovyshchakh oblytsiuvalnoho kameniu dlia zbilshennia koefitsiientu vykhodu blochnoi syrovyny», *Visnyk KTU*, Issue 9, pp. 20–23.
8. Iskov, S.S. (2008), *Heometryzatsiia yakysnykh pokaznykiv pokladiv hranitoidnykh i habroidnykh dekoratyvnykh kameniv*, Ph.D. Thesis of dissertation, 05.15.01, Zhytomyr. derzh. tekhnol. un-t, Zhytomyr, 202 p.
9. Korobiichuk, V.V. (2012), «Udoskonalennia systemy potochnoho planuvannia vydobuvannia blokiv pryrodnoho kameniu», *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, Vol. 1, No. 3 (62), pp. 122–125.

Криворучко Андрій Олексійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».
<https://orcid.org/0000-0003-3332-2631>.

Наукові інтереси:

- геометрія надр, видобування блочного каменю;
- геолого-економічна оцінка рудних та нерудних родовищ корисних копалин;
- захист населення в умовах надзвичайних ситуацій.

E-mail: km_kao@ztu.edu.ua.

Левицький Володимир Григорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».
<https://orcid.org/0000-0002-3892-5848>.

Наукові інтереси:

- проектування гірничих підприємств;
- геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин;
- маркшейдерська справа.

E-mail: v.levytskyi@ztu.edu.ua.

Скиба Галина Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри наук про Землю Державного університету «Житомирська політехніка».
<https://orcid.org/0000-0002-4981-4975>.

Наукові інтереси:

- моніторинг довкілля;
- геохімія, нанотехнології.

E-mail: kpn_sgv@ztu.edu.ua.

Кальчук Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».
<https://orcid.org/0000-0003-3179-2787>.

Наукові інтереси:

- фізико-механічні властивості природного декоративного каменю;
- геометрія надр;
- моделювання процесів гірничого виробництва.

Шишко Сергій Михайлович – аспірант кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- геометрія надр;
- видобування природного декоративного каменю.

Kryvoruchko A.O., Levytskyi V.G., Skyba G.V., Kalchuk S.V., Shyshko S.M.

Geometrization of structural elements of the Southern section of the Bystriyivske gabbro deposit to determine rational directions of development

The article deals with the issue of geometrization of structural elements of a gabbro deposit in order to improve the processes of its geological and economic assessment and determine the optimal directions of development. The main goal of the study is to create spatial models of the deposit that reflect the distribution patterns of the main structural elements, such as tectonic faults, layering, vein formations, fracture zones and other morphological heterogeneities that affect the physical and mechanical properties of rock and gabbroic rocks in particular. The work focuses on the study of the orientation and spatial arrangement of structural elements that determine the conditions of gabbro occurrence, the degree of its fracturing, and potential productivity during mining. A set of methodological approaches to the geometrization of structural elements using geographic information systems (GIS) and computer modeling is proposed, which allows improving the accuracy of interpretation of field and cameral geological data. The results of the study can be used to optimize the design of mining activities that take into account the spatial structure of natural stone deposits in order to increase the economic efficiency and technological feasibility of gabbro deposits with minimizing losses and ensuring stable quality of raw materials.

Keywords: gabbro; geometrization; fractured natural stone; block stone.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2025.