

В.Г. Левицький, аспір.
Р.В. Соболевський, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

ВИВЧЕННЯ ТРІЩИНУВАТОСТІ МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА ОСНОВІ ЦИФРОВОГО ФОТОГРАМЕТРИЧНОГО СПОСОБУ

Проаналізовано існуючі методи вивчення тріщинуватості, розглянуто їх переваги і недоліки, запропоновано застосування цифрового фотограмметричного способу для визначення показників тріщинуватості масиву гірських порід, розглянуто методику використання даного способу на кар'єрах облицювального каменю.

Вступ. Масив гірських порід характеризується наявністю сильно розвинутої тріщинуватості, характер, інтенсивність і елементи залягання якої визначають блочність родовища і технологію видобування.

Системи природних тріщин утворюють окремість породи і визначають форму і розміри структурних блоків, що обумовлює можливий вихід кондиційної блочної продукції із масиву, вибір способу підготовки породи до виймання, розташування і напрямку переміщення фронту гірничих робіт у відповідності до елементів залягання тріщин. Визначення показників тріщинуватості масиву, як на етапі геолого-розвідувальних робіт, так і в процесі експлуатації родовища, є важливим науково-практичним завданням, вирішити яке можливо за рахунок дослідження існуючих методів вивчення тріщинуватості й впровадження нових.

Поява і швидкий прогрес цифрових камер і цифрових фотограмметричних станцій, сучасний розвиток комп'ютерних технологій, а також теоретичні дослідження в галузі обробки зображень зробили можливим застосування нових цифрових методів для рішення різних завдань гірничого виробництва.

Одним із можливих напрямків застосування цифрових дистанційних методів визначення гірничо-технологічних параметрів кар'єрів облицювального каменю є ідентифікація природних розривів у масиві гірських порід з наступним обчисленням їх лінійних розмірів та прогнозуванням виходу блочної продукції на окремих ділянках родовища на основі цифрових знімків.

Метою статті є дослідження можливості й доцільності застосування цифрового фотограмметричного способу для вивчення тріщинуватості масиву гірських порід та визначення попередньої блочності ділянки видобувних робіт, а також аналіз існуючих традиційних способів вивчення тріщинуватості й порівняння їх із запропонованим.

Аналіз досліджень та публікацій. Тріщинуватість масиву та способи її вивчення досліджували Бакка М.Т. [1], Карасьов Ю.Г. [2], Смирнов А.Г. [3] та Котенко В.В. [4]. Впровадженням і використанням цифрових фотограмметричних способів зйомки кар'єрів з метою вирішення різних виробничих завдань займалися Долгих Л.В., Долгих О.В. [5, 6], Могильний С.Г. [7] та інші. Жоден з них не розглядав можливість застосування цифрового фотограмметричного способу для вивчення тріщинуватості масиву гірських порід.

Викладення основного матеріалу статті. Тріщини в гірських породах виникають внаслідок різних геологічних процесів, які впливають на масив гірських порід протягом всього часу. Існує геометрична класифікація, яка враховує орієнтацію тріщин у просторі, і генетична класифікація, яка ґрунтується на умовах їх утворення. Згідно з генетичною класифікацією виділяють тектонічні та нетектонічні тріщини. До нетектонічних тріщин належать: первинні тріщини; тріщини вивітрювання; тріщини розширення порід при перевантаженні; тріщини обвалів, провалів і зсувів; штучні або вторинні тріщини. До тектонічних тріщин належать тріщини з розривом суцільності порід (тріщини окремість) й кліважу.

Всі ці типи тріщин відносять до тріщин третього порядку. Саме вони формують природну блочність масиву і впливають на вибір системи розробки і її параметрів. Інші ж тріщини приймаються до уваги при вивченні структурних особливостей і анізотропії породи.

За ступенем тріщинуватості третього порядку масиви кристалічних гірських порід родовищ облицювального каменю згідно з класифікацією М.Т. Бакка [1] розділяються на 5 категорій, наведених у табл. 1. Основою даної класифікації слугували дослідження щодо впливу тріщинуватості на технологічні процеси видобування блоків облицювального каменю, а також вимоги до розмірів структурних окремістей, із яких здійснюється виготовлення товарних блоків і аналіз структур механізації гірничих робіт. При цьому масиви класифікуються за тріщинуватістю і технологічною складністю їх розробки, а класифікаційними ознаками є питома тріщинуватість і об'єм структурних блоків.

Таблиця 1

Класифікація масивів за тріщинуватістю і технологічною складністю їх розробки

Категорія	Клас за складністю розробки	Ступінь тріщинуватості	Характеристика за блочністю	Питома тріщинуватість, м/м ²	Максимальний об'єм структурного блока, м ³
I	Легкий	Сильнотріщинуватий	Мілкоблочний	9–12	0,8
II	Середній	Середньотріщинуватий	Середньо-блочний	9–6	1,3
III	Складний	Слаботріщинуватий	Крупноблочний	6–2	4,0
IV	Дуже складний	Малотріщинуватий	Дуже крупноблочний	2–0,5	10,0
V	Спеціальна технологія розробки	Нетріщинуватий	Монолітний	<0,5	>10,0

Нині існує декілька методів вивчення тріщинуватості гірських порід, які можна об'єднати у дві групи [3]:

1. *Статистичні методи*: безпосереднє спостереження за тріщинами в оголеннях та кар'єрах і їх інструментальне картування, спостереження за протіканням води у свердловинах, спостереження за блочністю у діючих вибоях кар'єрів шляхом обмірювання блоків і вимірювання вийнятої гірничої маси, вивчення тріщинуватості за керном геологорозвідувальних свердловин.
2. *Геофізичні методи*: електророзвідка, магніто- та сейсморозвідка, різноманітний каротаж свердловин.

Розглянемо більш детально кожен з вищенаведених методів.

Метод масових замірів тріщин у вибоях і оголеннях полягає у вимірюванні основних параметрів тріщин, їх інструментальній прив'язці та подальшому їх камеральному опрацюванні. Камеральне опрацювання отриманих даних полягає в складанні планів, карт та діаграм тріщинуватості, які потім порівнюються між собою і використовуються для побудови карт, що відображають орієнтування основних систем тріщин з метою визначення закономірностей їх розміщення. При цьому, як правило, вивчаються структури, які утворилися внаслідок витікання магми. Найчастіше для отримання найбільш достовірних даних використовується великомасштабна зйомка масштабу 1:200, 1:500 з нанесенням тріщин всіх систем та їх елементів залягання.

Актуальним завданням є модернізація методики вимірювання та інтерпретації тріщинуватості гірських порід у штучних оголеннях (кар'єрах, укосах траншей й ін.), що утворюються внаслідок проведення вибухових робіт, які призводять до утворення нових тріщин і до спотворення характеристик природної тріщинуватості. Досягнути цієї мети можна при застосуванні *методу безпосереднього спостереження за виходом блоків у кар'єрі*. Суть цього методу полягає в тому, що на певній ділянці кар'єрного поля здійснюється систематичне обмірювання видобутих блоків за певний звітний період часу. Маркшейдерським обміром фіксується фактично вилучена з кар'єру гірнична маса, а також фактичний вихід блоків за категоріями. За результатами співставлення об'ємів видобутої гірничої маси та отриманої продукції оцінюють блочність масиву або ділянки, яка досліджується [4].

Метод вивчення тріщинуватості на основі спостереження за протіканням води або стиснутого повітря в свердловинах застосовується як правило в процесі буріння свердловин. Суть його полягає в тому, що після проходження свердловини остання заповнюється водою чи стисненим повітрям. За місцями виходу повітря чи води на оголених ділянках масиву визначають наявність тріщин на горизонтах. А за характером вихідного струменя повітря чи води можна робити висновки про інтенсивність тріщинуватості. Ці висновки можуть використовуватись для будівництва, вирішення ряду задач геологічного та гідрогеологічного характеру.

Вивчення тріщинуватості за керном, отриманим при проходці свердловин колонкового буріння, полягає у дослідженні отриманого в результаті буріння керну. Вивчення керну здійснюється шляхом замальовування тріщин, які виявлені у керні по усіх інтервалах підйому, та визначенні відстаней між тріщинами та елементів їх залягання [3].

Гірські породи залежно від складу і умов залягання характеризуються певними фізичними властивостями: щільністю, магнітністю, електропровідністю, пружністю та іншими характеристиками, які відрізняються між собою числовими значеннями відповідних фізичних констант. Це робить можливим у гірничій практиці широко застосовувати *геофізичні методи* дослідження тріщинуватості, такі як мікромагнітна зйомка, вивчення тріщин ультразвуком, сейсмо- та електрокаротаж та інші. При

розвідці родовищ облицювального каменю *геофізичні методи* застосовують для виявлення зон підвищеної тріщинуватості та карстів, встановлення геологічних включень, оконтурювання площ, перспективних для отримання блочної продукції, визначення потужностей розкривних порід у межах цих самих площ.

Сейсмоакустичні методи [4] вивчення масивів облицювального каменю ґрунтуються на штучному збудженні пружних хвиль звукового та ультразвукового діапазону частот, а також на визначенні геоакустичної емісії (шумів), яка виникає у масиві під впливом різних динамічних явищ, які відбуваються в ньому. Збудження пружних коливань здійснюється за допомогою вібраторів, вибухів малих зарядів вибухової речовини, електроіскровими, електродинамічними та магнітострикційними випромінювачами.

Електрокаротаж (електророзвідувальні роботи) ґрунтується на різниці електричних опорів монолітних і тріщинуватих порід. Електричний опір залежить від ступеня зруйнованості гранітів, величини тріщин, заповнення тріщин гізенгеритом. Оскільки потужність розкриву на покладах декоративних каменів як правило незначна, то електророзвідувальні роботи ґрунтуються на вимірюванні опору постійного струму. Зменшенню достовірності отриманих результатів сприяють нерівна поверхня покрівлі покладу, нерівний рельєф поверхні Землі, наявність в районі робіт блукаючих струмів і перешкод від промислових мереж.

Магнітна розвідка на родовищах декоративного каменю поки що не отримала широкого застосування і перспективи її розвитку пов'язані з удосконаленням і збільшенням чутливості апаратури.

Порівняльний аналіз усіх розглянутих вище методів вивчення тріщинуватості наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Аналіз методів вивчення тріщинуватості

<i>Статистичні методи</i>	
Переваги	Недоліки
1	2
<i>Метод масових замірів тріщин у вибоях і оголеннях</i>	
Можливо фіксувати основні елементи вертикальних і крутопохилих тріщин	Первинно-пластові тріщини вивчаються тільки частково, що не дає можливості в повному обсязі робити висновки про блочність. Має високу трудомісткість польових і камеральних робіт
Метод ефективний у поєднанні з проходкою свердловин колонкового буріння і вивчення керну за умови систематичного виконання масових замірів і ретельної підготовки вибоїв	

Закінчення таблиці 2

1	2
<i>Метод безпосереднього спостереження за виходом блоків у кар'єрі</i>	
Висока достовірність отриманих результатів. Дозволяє поряд з природною оцінювати штучну (техногенну) тріщинуватість масиву декоративного каменю	Не дозволяє розмежувати вплив тріщинуватості і технології на вихід блоків. Не дозволяє судити про характер змінності тріщинуватості в просторі родовища
Метод ефективний для оцінки техногенної тріщинуватості та як додатковий до методу масових замірів тріщин у вибоях і оголеннях та вивчення тріщинуватості за керном, отриманим при проходці свердловин колонкового буріння	
<i>Метод вивчення тріщинуватості на основі спостереження за протіканням води або стиснутого повітря в свердловинах</i>	
Є можливість судити про погоризонтну тріщинуватість та її інтенсивність	Не дозволяє визначати елементи залягання тріщин окремістю
Метод нераціонально застосовувати для оцінки покладів декоративного каменю	
<i>Вивчення тріщинуватості за керном, отриманим при проходці</i>	

<i>свердловин колонкового буріння</i>	
Дає можливість досить повно судити про елементи залягання пластових тріщин	В процесі буріння керн підлягає додатковому подрібненню, створюються штучні тріщини, які важко відрізнити від природних. Існують труднощі з визначенням напрямку падіння тріщин. Характеризується великими матеріальними витратами
Метод ефективний у поєднанні з методом масових замірів тріщин у вибоях і оголеннях за умови систематичного виконання масових замірів і ретельної підготовки вибоїв	
<i>Геофізичні методи</i>	
<i>Електророзвідка, магніто- та сейсморозвідка, різноманітний картаж свердловин</i>	
Дає можливість виявити зони підвищеної тріщинуватості і визначити потужність рихлих відкладень	Не дозволяє визначити інтенсивність, напрямок та елементи залягання тріщин
Методи дозволяють отримати лише загальну оцінку тріщинуватості масиву без поділу тріщин по класам і визначення елементів їх залягання	

Як видно з табл. 1, найбільш достовірну інформацію про тріщинуватість масиву дають статистичні способи, але лише в тому випадку, коли їх застосовувати в комплексі. Але геофізичні способи на кар'єрах облицювального каменю дають лише загальні уявлення про розвиток тріщинуватості на окремих ділянках, тому як основні застосовуватись не можуть.

Одним із можливих шляхів рішення проблеми вивчення показників тріщинуватості є застосування сучасних цифрових методів, а саме цифрової фотограмметричної зйомки.

Вже сьогодні за допомогою цифрової фотограмметрії в гірничій справі вирішують багато специфічних задач, наприклад проводять автоматичний аналіз гранулометричного складу (крупності шматків) гірської маси за цифровими знімками [8]. Такий аналіз базується на фотопланіметричному способі, який полягає у визначенні площі кожного об'єкта (шматка породи) на знімку і статистичній обробці отриманих значень. Попередня обробка зображення і виділення контурів об'єктів виконується в автоматичному режимі з можливістю ручного коректування за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Єдиною вітчизняною програмою такого типу є модуль визначення гранулометричного складу висадженої гірської маси K-Granules 1.2.0, який є частиною геоінформаційної системи K-MINE [9]. Точність визначення складає 5–7%. До функцій (алгоритму) даного модуля відносять: 1) завантаження вихідних знімків; 2) настроювання параметрів кольорових фільтрів і визначення контурів шматків породи; 3) формування перспективи; 4) розпізнавання графічних об'єктів і розрахунок параметрів шматків висадженої гірської маси; 5) формування баз даних і звітної документації.

Використання цифрової фотограмметричної зйомки з метою вивчення тріщинуватості масиву гірських порід на кар'єрах облицювального каменю пропонується вперше, тому дослідження доцільності й ефективності застосування такого методу потребує більш детального аналізу.

При фотограмметричній зйомці вибирається ділянка масиву з видимими тріщинами довжиною не менше 2-3 м. Вибрану ділянку, а саме вертикальну площину масиву, фотографують цифровою камерою, оптична вісь якої повинна бути направлена в центр площини перпендикулярно її простяганню. На границях вибраної ділянки опускають вздовж площини дві масштабні стрічки з поділками. Відстань між стрічками вимірюють рулеткою на верхній і нижній бровці уступу, при цьому по можливості витримують паралельність стрічок і перпендикулярність їх до нижньої бровки.

На отриманому знімку поділки масштабних стрічок з'єднують між собою горизонтальними лініями – січними. Знаючи відстань між масштабними стрічками в натурі й довжину січних на знімку, обчислюють масштаб по кожній січній. На знімку знаходять точки перетину січних з тріщинами і вимірюють відстань між ними. З відстані між тріщинами визначають розмір природних окремоостей і аналізують можливий вихід товарних блоків на досліджуваній ділянці родовища природного каменю.

Однак така методика дослідження тріщинуватості на основі цифрових знімків все ще вимагає певних польових робіт, пов'язаних з вимірюваннями рулеткою, що, в свою чергу, призводить до зниження точності результатів і підвищення тривалості підготовчих операцій. Удосконалення даного методу можливе за рахунок використання спеціального програмного забезпечення, яке дозволить автоматизувати і значно прискорити обробку даних.

Обробка цифрових знімків полягає в попередньому коректуванні зображення за допомогою різних фільтрів з метою наступного розпізнавання образів, в даному випадку тріщин. Розпізнавання образів

забезпечує новий підхід до автоматизованої обробки вихідної цифрової фотоінформації при вивченні тріщинуватості масиву гірських порід фотограмметричним методом.

При розпізнаванні образів виникають задачі сприйняття інформації, її аналізу, класифікації і фільтрації [10]:

1) *сприйняття інформації*. Воно має велике значення, оскільки навіть найкращий метод розпізнавання не дозволяє ефективно обробляти вихідні дані, якщо в них містяться помилки і неточності.

2) *аналіз описання об'єкта за допомогою ознак*. При аналізі сприймається не сам об'єкт, а сукупність конкретних ознак і властивостей, пов'язаних з його представленням. Для визначення одного й того ж об'єкта може бути вибрана нескінченна кількість характерних ознак.

3) *класифікація об'єктів*. Дана операція полягає в розподіленні даних за категоріями (класами), де клас – це сукупність образів, які мають однакові ознаки. Число класів визначається залежно від поставленої задачі.

4) *фільтрація*, тобто попередня обробка образів з метою вибору необхідних для аналізу класів і скорочення обсягів інформації для більш швидшого подальшого аналізу зображення.

Основними ознаками оцінки тріщинуватості гірського масиву, які характеризують об'єкт, є розміри об'єкта по горизонталі й вертикалі та його колір. У цій сукупності ознак виділяються такі класи об'єктів: тріщини, тіні, фон та інші об'єкти (різні включення в породі, плями, потоки води, виступи і впадини, спричинені видобувним обладнанням та технологією розробки). Точність класифікації об'єктів і зокрема виділення об'єктів-тріщин на знімку визначає похибку кінцевих результатів.

Кожна точка на знімку має своє числове значення яскравості в діапазоні від 0 до 255. Темним тонам відповідає низьке значення яскравості, відповідно менше числове значення точки, тому всі тріщини представлені більш темними тонами. Практично при аналізі зображення людиною вона виділяє об'єкт-тріщину як різкий перепад яскравості сусідніх областей. Тому алгоритм розпізнавання тріщин зводиться до знаходження образів пониженої яскравості та їх розподіл за відповідними класами.

Розрізняють мінімуми пониженої яскравості, які відповідають дійсно тріщинам, і мінімуми, які відповідають тіні й неоднорідності навколишнього фону. Але відмінною ознакою тріщини є те, що її розміри по простяганню і падінню на декілька порядків більші її потужності (розкриття) та ширина тріщини є стійкою характеристикою.

На ринку програмного забезпечення існує невелика кількість професійних програм для обробки цифрових знімків з метою рішення науково-практичних задач в різних галузях і можливістю отримання і аналізу статистичних даних. Найбільш потужною серед таких програм є продукт російської компанії ООО "Новые Экспертные Системы" для якісного і кількісного аналізу зображень ImageExpert Pro 3 [11]. Аналізатор являє собою інтеграцію сучасних технологій з обробки зображень, створених на базі математичних методів, і дозволяє отримувати широкий спектр геометричних параметрів елементів структури, до найбільш важливих з яких можна віднести: відсоткові частки складових; площі; периметри; мінімальні, максимальні і середні діаметри; параметри форми і витягнутості об'єктів; характеристики розподілу об'єктів (у тому числі ареальні діаграми і діаграми вільних відстаней, гістограми міжцентрових відстаней і відстаней між об'єктами); характеристики анізотропії структур та інше.

Алгоритм обробки зображення в програмному комплексі ImageExpert Pro 3 включає такі етапи:

1. Завантаження знімків.
2. Масштабування. Для визначення відповідності реального масштабу отриманих зображень необхідно виконати калібрування комплексу, яке заключається у знаходженні і установці масштабного коефіцієнту і одиниць вимірювання.
3. Корекція знімків. Цей етап включає бінаризацію зображення, сегментацію по кольору і фільтрацію об'єктів за геометричними параметрами. Бінаризація традиційно є необхідною операцією при підготовці зображень до чисельного аналізу. В результаті бінаризації вихідний масив різнобарвних точок ділиться на дві підмножини: множина точок, які утворюють шукані об'єкти для аналізу, і множина точок, які утворюють фон. Сегментація є більш наочним інструментом для виділення структурних складових, оскільки замість одного порога в бінаризації захоплюється діапазон кольорів по кожній колірній компоненті. Таких діапазонів сегментації може бути до 16 за один прохід. Маючи виділені об'єкти на зображенні, виникає необхідність фільтрації їх за рядом геометричних параметрів, наприклад виділення тільки сферичних часток з певним розміром. Подібні операції здійснюються застосуванням параметричного фільтра.
4. Геометричне вимірювання елементів структури в реальних фізичних одиницях, яке виконується в ручному (напівавтоматичному) режимі.
5. Математична обробка результатів і формування звіту. Даний етап виконується в автоматичному режимі з можливістю коректування вихідних даних і налаштування параметрів обробки.

Недоліком даної програми є відсутність можливості розпізнавання необхідних об'єктів із заданими ознаками, необхідність підбору відповідних фільтрів до кожного окремо взятого знімка, а також відсутність інструменту автоматичного вимірювання геометричних параметрів вибраних об'єктів.

На основі вищенаведеного алгоритму був оброблений цифровий знімок гранітного масиву Лезниківського родовища. У процесі обробки на знімок в програмі Corel Photo-Paint X3 послідовно накладалися такі коректуючі фільтри: баланс кольорів, місцеве вирівнювання, визначення контура, адаптивна різкість, видалення мілких деталей (рис. 1). В результаті корекції зображення було чітко виявлено тріщини масиву третього порядку, що дозволило виміряти їх довжину на знімку з врахуванням масштабного коефіцієнта в програмному комплексі ImageModeler 4.0 (рис. 1, з).

Основними кількісними показниками оцінки тріщинуватості є питома площинна тріщинуватість U_{mp} і питома лінійна тріщинуватість d , які забезпечують найбільш повну інформацію про порушеність масиву.

Питома площинна тріщинуватість характеризує середню довжину всіх тріщин на 1 м^2 поверхні, яка досліджується, і є відношенням загальної довжини всіх тріщин D_{mp} на окремій ділянці (вибої) до її площі S_0 . Даний показник легко визначити фотограмметричним способом, знаючи довжину всіх тріщин і площу знімка.

Питома лінійна тріщинуватість характеризує середню відстань d між тріщинами і являє собою відношення загальної довжини всіх шматків L_k по профілю, напрямком якого розташований вхрест простяганню тріщин даної системи, до кількості цих шматків N_k [3]. Даний показник найбільш повно характеризує відстань між тріщинами одної системи і приймається за основний при оцінці блочності й класифікації природної окремоті за формою і розміром структурних блоків.

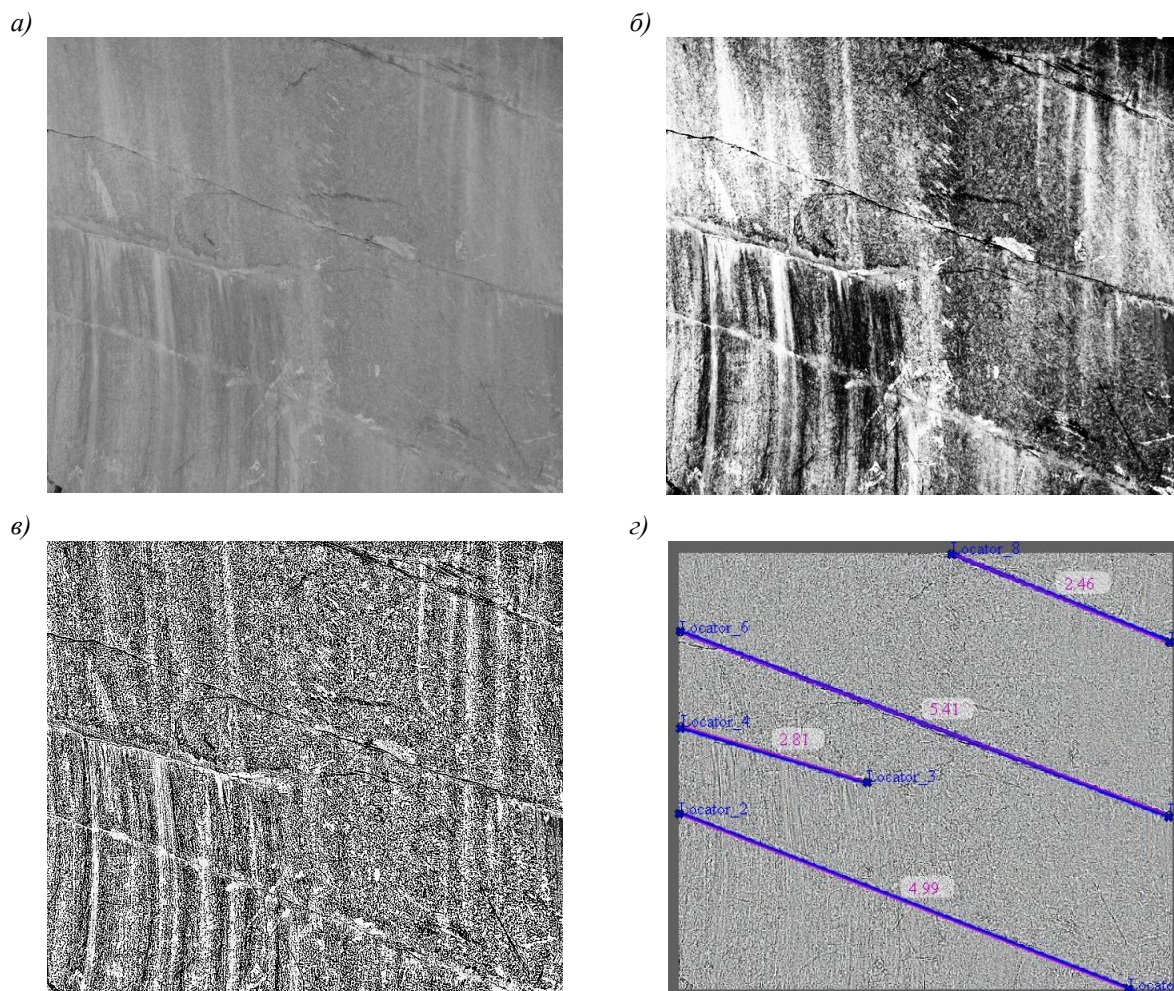


Рис. 1. Обробка цифрового знімка гранітного масиву:
а) – без накладення фільтрів; б), в), г) – після накладення фільтрів

Дослідження фотограмметричного методу вивчення тріщинуватості масиву гірських порід дали змогу визначити такі його переваги:

- відсутність потреби в спеціальній апаратурі, яка необхідна в інших методах (для виконання зйомки можливо використовувати цифрову неметричну камеру);
- оперативність виконання зйомки та мінімальна витрата часу на польові роботи, що значно прискорює отримання результатів;
- можливість виконання зйомки на великій відстані від вибою;
- автоматизація процесу обробки вихідних знімків;
- висока точність отриманих результатів.

До недоліків слід віднести велику похибку результатів вимірювання у разі неправильного вибору точки фотографування, необхідність дотримання чітко визначеної схеми фотографування, що не завжди можливо через складності умов видобування, неможливість виявлення і вивчення прихованих тріщин, а також складність алгоритму обробки знімків у випадку зйомки мокрих порід, особливо чорного кольору типу габро і лабрадорит, і тріщин, заповнених вміщуючими породами.

Висновки. Жоден з існуючих сьогодні методів вивчення самостійно не може забезпечити якісний аналіз тріщинуватості масивів. Саме тому визначення показників тріщинуватості слід виконувати комплексно двома-трьома методами, вибір яких залежить від гірничо-технологічних факторів та поставленої задачі.

Найбільш перспективним і автоматизованим методом, який може замінити масові заміри тріщин у вибоях і оголеннях, є фотограмметричний. Він базується на використанні сучасних цифрових технологій та програмного забезпечення обробки цифрових знімків.

Подальша автоматизація процесу вивчення тріщинуватості масиву гірських порід можлива за рахунок розробки нових алгоритмів розпізнавання об'єктів на знімку та розробки програмного забезпечення відповідного призначення, що дозволить автоматично визначати координати тріщин на знімку і розраховувати показники тріщинуватості.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Бакка Н.Т., Ильченко И.В.* Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений: Справочник. – М.: Недра, 1992. – 303 с.
2. *Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т.* Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. – Санкт-Петербургский горный ин-т. – С-Пб., 1997. – 428 с.
3. *Бакка Н.Т., Смирнов А.Г.* Добыча и обработка природного камня. – М.: Недра, 1990. – 445 с.
4. *Котенко В.В.* Аналіз та дослідження сучасних методів визначення тріщинуватості родовищ облицювального каменю // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – 2003. – № 1. – С. 218–222.
5. *Долгих Л.В., Долгих О.В., Малецький М.М.* Сучасні методи знімальних робіт на кар'єрах // Вісник КТУ. – Кривий Ріг: КТУ. – Вип. 3 (13). – 2006. – С. 48–51.
6. *Долгих Л.В.* Практика використання цифрових методів зйомки кар'єрів // Вісник КТУ. – Кривий Ріг: КТУ. – Вип. 16. – 2007. – С. 44–48.
7. *Могильный С.Г., Беликов И.Л., Ахонина Л.И.* Фотограмметрия. – К.: Вища школа, 1985. – 278 с.
8. *Молдован Д.В.* Анализ гранулометрического состава взорванной горной массы // Записки горного института. – С-Пб.: СПГИ (ТУ). – 2005. – Том 167. – Ч. 1. – С. 83–85.
9. *Хоменко С.А., Барановский С.С.* Пособие пользователя «K-Granules». – Кривий Ріг: НПП «КРИВБАСАКАДЕМИНВЕСТ», 2006. – 35 с.
10. *Грузман И.С., Киричук В.С. и др.* Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
11. www.nexsys.ru – ООО "Новые Экспертные Системы".

ЛЕВИЦЬКИЙ Володимир Григорович – аспірант кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерська справа.

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

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерська справа.

Подано 25.07.2008

Левицький В.Г., Соболевський Р.В. Вивчення тріщинуватості масиву гірських порід на основі цифрового фотограмметричного способу

Левицкий В.Г., Соболевский Р.В. Изучение трещиноватости массива горных пород на основе цифрового фотограмметрического способа

Levitskiy V.G., Sobolevskiy R.V. Study of the fracture of massif of rocks on the basis of digital photogrammetric method

УДК 622.271+528.71

Изучение трещиноватости массива горных пород на основе цифрового фотограмметрического способа / В.Г. Левицкий, Р.В. Соболевский

Проанализированы существующие методы изучения трещиноватости, рассмотрены их преимущества и недостатки, предложено применение цифрового фотограмметрического способа для определения показателей трещиноватости массива горных пород, рассмотрена методика использования данного способа на карьерах облицовочного камня.

УДК 622.271+528.71

Study of the fracture of massif of rocks on the basis of digital photogrammetric method / V.G. Levitskiy, R.V. Sobolevskiy

The existing methods of studying the fracture are analyzed, their advantages and deficiencies are examined, the application of a digital photogrammetric method for determining the indices of the fracture of massif of rocks is proposed, the procedure of the use of this method on the quarries of facing stone is examined.