

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ГОРОБЧИШИН ОЛЕГ ВІКТОРОВИЧ

УДК 622.236

РОЗРОБКА НАУКОВОГО СУПРОВОДУ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ
ТРИЩИНУВАТИСТЮ БЛОКОВОГО КАМЕНЮ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ДО ВИЙМАННЯ

Спеціальність 05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Роботу виконано у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України на кафедрі геобудівництва та гірничих технологій.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Зуєвська Наталя Валеріївна,
Національний технічний університет
України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,
професор кафедри геобудівництва
та гірничих технологій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Темченко Олександр Анатолійович,
«Криворізький економічний
інститут» ДВНЗ «Київський
національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана»,
в. о. завідувача кафедри економіки та
стратегії підприємств;

кандидат технічних наук, доцент
Стріха Володимир Андрійович,
ДВНЗ «Національний університет
водного господарства та
природокористування»,
доцент кафедри розробки родовищ та
видобування корисних копалин.

Захист відбудеться «23» березня 2017 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.22 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 511.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий “_21_” лютого 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук



В.В. Вапнічна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Майже третина (200 тис. км²) території України припадає на Український кристалічний щит, що складається переважно з унікальних за своїми декоративними характеристиками гранітів, діоритів, лабрадоритів, габро та інших різновидів скельних гірських порід. Значні запаси унікальних порід каменю дозволяють широко застосовувати їх при оздобленні зовнішньої поверхні будинків і споруд, оформленні інтер'єрів, виготовленні архітектурно-будівельних виробів, спорудженні монументів, пам'ятників, різноманітних скульптур.

Лідируючи в світі за запасами декоративно-облицювального каменю, Україна займає одне з останніх місць за його видобутком. Однією з основних причин цього є недостатня якість видобутих блоків, що не відповідає світовим стандартам. Структура експорту природного каменю в Україні показує значну перевагу (більше половини) гранітів. Декоративність самого каменю повністю відповідає вимогам ринку, але застосування технологій, які не зберігають цілісності каменю і призводять до активного процесу технологічного тріщиноутворення всередині блоків, не дозволяють вирізати з них євростандартні розміри плит. Це призводить до зниження попиту на нашу продукцію і цін на неї.

Основним технологічним процесом, що змінює агрегатний стан каменю, є підготовка його до виймання. Взаємодія природного чинника і обладнання, яке при цьому застосовується, впливають на якість сировини через збільшення тріщинуватості, знижуючи ефективність робіт і збільшуючи об'єми відходів при пасивуванні. Саме тому дослідження з аналізу і оцінки технологічної тріщинуватості гірських порід при вийманні блоків, а також вдосконалення технологічних прийомів, які б могли знизити утворення технологічної тріщинуватості, є **актуальною науково-практичною задачею**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі геобудівництва та гірничих технологій ІЕЕ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року N 3268-VI), а також плану наукових досліджень кафедри геобудівництва та гірничих технологій, і є складовою частиною НДР: «Наукові основи ресурсозберігаючих технологій гірництва та геотехнічного будівництва» (№ ДР 0115U005398), в яких автор дисертації був виконавцем.

Метою дисертаційної роботи є вдосконалення параметрів технології відокремлення блоків декоративного каменю при вийманні для зниження їх технологічної тріщинуватості через використання комп'ютерного моделювання.

Вказана мета досягається вирішенням наступних **задач**:

- встановлення закономірностей формування зональної технологічної тріщинуватості та зміни міцнісних характеристик гірської породи в залежності від розмірів блоків при різних способах їх відділення від масиву;
- вибір кількісної оцінки питомої дефектності блоків та виробів з них з використанням сучасного програмного забезпечення;
- встановлення ефективних технологічних параметрів робочого уступу з метою підвищення якості відділюваних блоків.

Об'єкт дослідження – процеси та технологічні параметри способів підготовки блокового каменю до виймання.

Предмет дослідження - закономірності формування зональної технологічної тріщинуватості блокового каменю в процесі відокремлення.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач у роботі використовувались сучасні методи наукових досліджень аналізу – для узагальнення сучасних досягнень з удосконалення технології підготовки блокового каменю до виймання; експериментальних досліджень в натурних умовах – для визначення якості блоків неруйнівними методами; геоматематичної статистики – для обробки експериментальних даних та встановлення залежності міцнісних характеристик блоків від зональної тріщинуватості; математичного моделювання – для встановлення залежності зміни максимальних значень напружень в масиві від технологічних параметрів відокремлення блоків; техніко-економічного аналізу – для оцінки доцільності практичної реалізації отриманих результатів.

Наукову новизну отриманих результатів представлено наступними науковими положеннями, в яких вперше:

- встановлено поліноміальні закономірності зміни модуля пружності граніту в крайових частинах блоків, відділених різними методами ;
- отримано закономірності розподілу в об'ємі блока та обсяги зон пониженої міцності в залежності від обраного способу відділення; встановлено, що у відділеному вибухом блоці обсяг крайових зон пониженої міцності досягає $2/3$ загального об'єму;
- визначено процентний вміст питомої технологічної тріщинуватості декоративного каменю в залежності від способів відділення блоків; встановлено втричі збільшення питомої технологічної тріщинуватості при застосуванні вибуху;
- математично обґрунтовано закономірності зонального розподілу полів напружень в масиві відділеного блока та встановлено поліноміальні залежності критичних значень напружень стискання та розтягнення в кутових зонах моноліту від кута укосу робочого уступу при підготовці блоків до виймання.

Практична цінність результатів роботи полягає в:

- створенні алгоритму та програмного продукту, який дозволяє моделювати та виконувати інженерний розрахунок параметрів процесу формування зональних напружень в кутовій зоні в залежності від кута уступу;
- розробці методики експрес-діагностики кількісної оцінки питомої тріщинуватості гранітів при проведенні дефектоскопії блоків і виробів з них;
- розробці рекомендацій щодо параметрів відокремлення блоків від масиву через зменшення кута укусу робочого уступу, що сприяє зниженню концентрації кутової технологічної тріщинуватості.

Результати дисертаційних досліджень прийняті для впровадження в Державному гемологічному центрі України (ДГЦУ), на кар'єрі Танського родовища ПАТ «Київський завод «Граніт», на кар'єрі Анастасіївського родовища гранітів, що підтверджується відповідними актами.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та окремі результати роботи доповідались та обговорювались на: міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння» (Київ, 2012); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння» (Київ, 2013); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння» (Київ, 2015); VIII міжнародній науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (конференція молодих вчених – аспірантів і магістрантів) (Київ, 2016) та на наукових семінарах кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України «КПІ імені Ігоря Сікорського».

Публікації. Основний зміст дисертації викладено у 19 наукових працях, у тому числі, 6 статей у фахових виданнях, серед яких – 4 статті у виданнях України, які входять до переліку міжнародних наукометричних баз даних, 4 тези доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій, 1 свідоцтво на науковий твір та 8 статей в інших виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку використаних літературних джерел, який містить 111 найменувань. Основний текст викладено на 122 сторінках друкованого тексту, містить 46 рисунків, 19 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи і показано зв'язок з науковими програмами, визначено мету та задачі досліджень, сформульовано основні наукові положення та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто відомі теоретичні і прикладні дослідження впливу технологічної тріщинуватості на якість та довговічність блокового каменю та виробів з нього. Родовища блочного декоративного каменю України мають сприятливі гірничо-геологічні умови залягання, невелику потужність покривних порід і розробляються виключно відкритим способом. В роботах Гелети О.Л., Галецького Л.С. встановлено, що при видобуванні порід з цих родовищ повинні бути збережені міцнісні властивості і декоративна якість гірської породи. В роботах Бакки Н.Т., Жукова С.О., Кравця В.Г., Ткачука К.К., Соболевського Р.В. відзначається, що визначальними є розміри видобутих блоків, обумовлені природною тріщинуватістю, технологією та обладнанням, що застосовується при видобуванні.

В роботах Котенка В.В., Темченка О.А. показано, що спосіб руйнування порід при підготовці блокового каменю до виймання в значній мірі визначає якість видобутої сировини і собівартість продукції. І оскільки зараз ще переважають буровибухові і буроклинові способи відділення блоків міцних порід, це негативно впливає на якість сировини через збільшення тріщинуватості, зниження ефективності робіт і збільшення об'ємів відходів при пасеруванні. Тому в роботах Коробійчука В.В., Башинського С.І., Стріхи В.А. визначається, що перспективним напрямком видобування природного каменю є застосування алмазно-канатного різання.

Крім монолітності та декоративності, дуже важливою характеристикою якості природних облицювальних порід є їх довговічність. Утворювані технологічні мікротріщини далі розширюються під дією атмосферних явищ, що призводить до зниження довговічності виробів. Цей процес погіршується під впливом агресивного середовища, що було проаналізовано в роботах Камських О.В., Жукова С.О.

Вивченню тріщинуватості гірських порід і масивів як фактора їх міцності і стійкості присвячені численні дослідження Бакки М.Т., Барона Л.І., Кутузова Б.М. та ін.

Загалом, можна зробити висновок, що закономірності, які б описували та дозволяли моделювати процес розвитку тріщин і вдосконалювати методи руйнування гірських порід на макрорівні, постійно уточнюються.

Підвищення вимог до якості видобутих блоків декоративного каменю змусило науковців аналізувати характер, закономірності розподілу та інтенсивність полів напружень в масиві для подальшого коригування технологічних параметрів відокремлення блоків. Напрямки досліджень з питань формування полів напружень в гранітних масивах показують домінування

досліджень для виробок глибокого закладання. На сьогоднішній день залишається маловивченим питання видобування блоків в умовах значних горизонтальних тектонічних напружень масиву та подальшого процесу релаксації порід після відокремлення. В роботах Кальчука С.В. запропоновано аналітичні розрахунки з формування полів напружень в блоках каменю, видобутого з тектонічно напруженого масиву. Вказується на прямий зв'язок розмірів блоку з значеннями накопичуваних напружень. Пропонується усунути процес руйнування каменю при видобуванні шляхом обмеження розмірів відокремлюваних блоків. Піднімається питання про своєрідність формування полів напружень і необхідність більш досконалого вивчення цього питання, що обумовило дослідження з моделювання формування полів напружень в період відділення блоків з масиву в кар'єрах блокового декоративного каменю для умов Житомирських родовищ з метою виявлення зон підвищених напружень, де більш ймовірно і утворюється підвищена технологічна тріщинуватість. Моделювання цього процесу може не тільки вказати на зони підвищених напружень, але і допомогти зменшити їх через зміну технологічних параметрів відокремлення блоків від масиву.

Отже, базуючись на висновках сучасних наукових досліджень, розглянутих в роботі, можна зробити висновок, що саме локальне виникнення підвищених полів напружень впливає на активізацію процесу тріщиноутворення в гранітах.

У другому розділі наведено матеріали експериментальних досліджень впливу способів руйнування порід при підготовці блоків до виймання каменю на його тріщинуватість. Як було зазначено раніше, порушення монолітності каменю в процесі його видобування різко знижує його якість. Чинники, які впливають на якість блоків декоративного каменю, можна поділити на природні і технологічні. На чинники природного походження вплинути практично неможливо, тому наукові дослідження слід спрямувати в напрямку вдосконалення технологічних чинників. Саме спосіб підготовки каменю до виймання є основним фактором впливу на зміну фізико-механічних властивостей і рівня дефектності блокового каменю. Від вибору способу підготовки блокового каменю до виймання залежить якість отриманої продукції. Згідно з дослідженнями, представленими в розділі 1, поширеними способами підготовки каменю до виймання в Україні є вибухові, але останнім часом бурхливо розвивається механічний спосіб з використанням канатного розпилу. В роботі вивчено закономірності зміни міцності блоків без руйнування гірської породи шляхом застосування сучасних неруйнівних методик дефектоскопії, які дозволяють проводити контроль якості каменю і виробів з нього з метою виявлення внутрішніх і прихованих дефектів, і аналізувати інтенсивність процесу технологічного тріщиноутворення. Спочатку реалізовано візуальний метод дефектоскопії за допомогою оптичних приладів з отриманням цифрових зображень, які можна в подальшому обробляти.

Застосування ультразвукових методів при дослідженні гірських порід дозволяє значно розширити коло питань, пов'язаних з вивченням фізичних властивостей та структурних особливостей гірських порід. Головним питанням, яке успішно можна вирішити за допомогою ультразвукових методів дослідження гірських порід, є вивчення внутрішньої структури гірських порід та її взаємозв'язок з акустичними характеристиками, дослідження внутрішньої будови гірських порід. Для виконання даної роботи використовувався ультразвуковий дефектоскоп італійської фірми MATEST моделі C372N.

Даний прилад призначений для виявлення дефектів, порожнин, дрібних тріщин всередині декоративних плит і блоків, контролю впливу факторів навколишнього середовища. У представлених дослідженнях аналізувалися гранітні зразки, вирізані з блоків, видобутих із застосуванням двох різних технологій – вибухової і алмазно-канатного різання з трьох родовищ: Покостівського, Капустянського і Корнинського. За допомогою ультразвукового дефектоскопа C372N, з урахуванням анізотропії гранітів був визначений модуль пружності. Отримані результати вимірів графічно представлені на рис. 1.

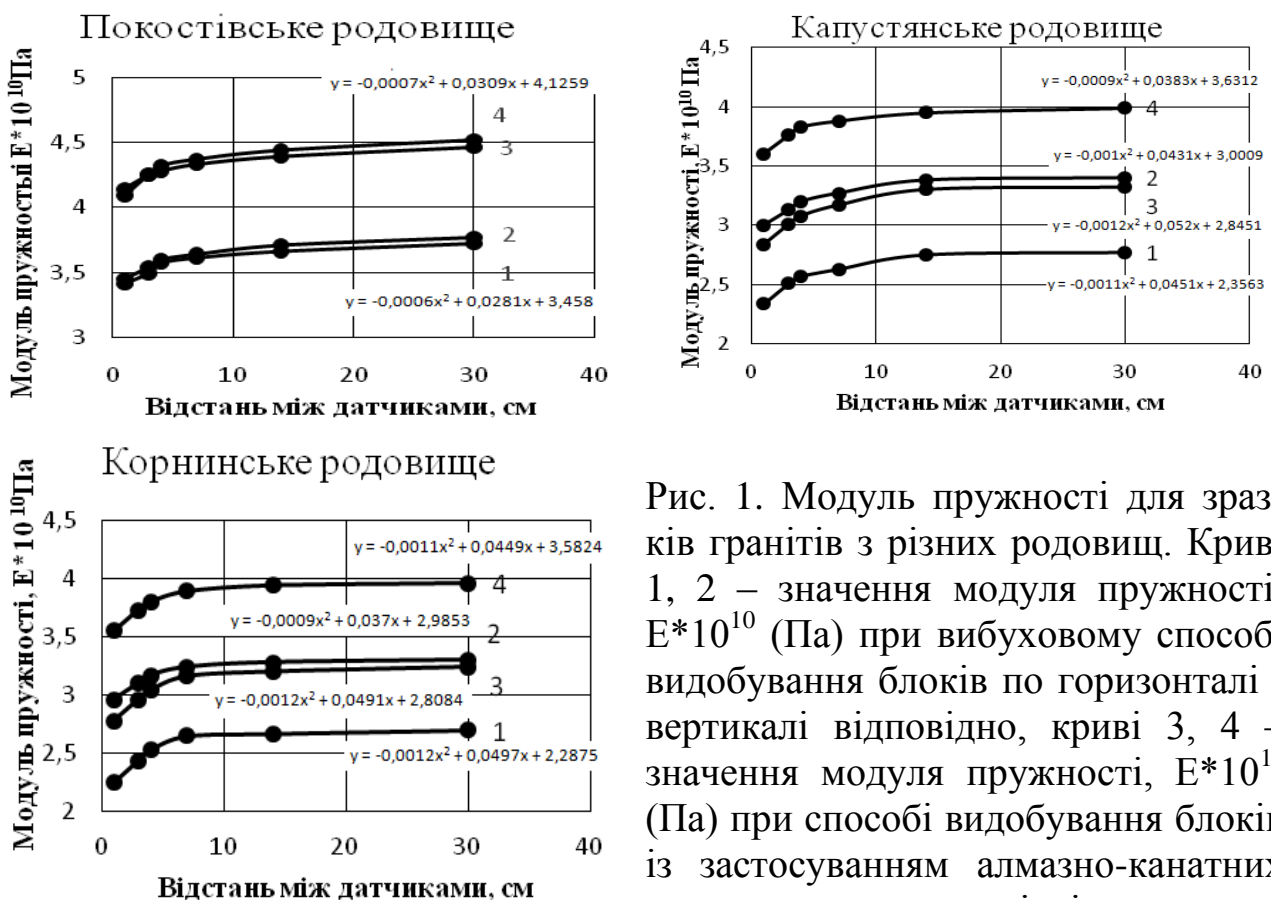


Рис. 1. Модуль пружності для зразків гранітів з різних родовищ. Криві 1, 2 – значення модуля пружності, $E \cdot 10^{10}$ (Па) при вибуховому способі видобування блоків по горизонталі і вертикалі відповідно, криві 3, 4 – значення модуля пружності, $E \cdot 10^{10}$ (Па) при способі видобування блоків із застосуванням алмазно-канатних пил по горизонталі і вертикалі відповідно

Для аналізу зміни фізико-механічних властивостей блоків декоративного каменю при підготовці його до виймання різними способами були використані

дві методики дефектоскопії: візуальна і ультразвукова. Візуальна дефектоскопія за допомогою стереомікроскопа виявила значні поверхневі дефекти зразків з блоків, відділених із застосуванням вибухових технологій, порівняно зі зразками з блоків, відділених за допомогою канатного розпилу. Спостерігається велика кількість розломів значних розмірів.

Використання ультразвукової дефектоскопії дозволило оцінити не лише поверхневі дефекти блоків, а й внутрішні. В результаті проведених досліджень і визначення динаміки зміни модуля пружності встановлено, що спосіб підготовки блоків до відділення також впливає на динамічний модуль пружності. При застосуванні менш руйнівного способу з використанням канатного розпилу значення динамічного модуля пружності на 20 % вищі від його значень в блоках, відділених за допомогою вибуху. Представлена методика оцінки динамічного модуля пружності як показника зміни питомої технологічної мікротріщинуватості може використовуватись як один з різновидів експрес-аналізу якості блоків. Завдяки застосуванню сучасного ультразвукового дефектоскопа оцінку якості блокової продукції можна робити не лише по краях блоків, але і в усьому блоці, що дає повну оцінку якості продукції.

Використання сучасного склерометра для неруйнівного методу вимірювання динамічної міцності дозволило встановити зональну зміну міцнісних характеристик видобутих блоків, яка може бути пояснена нерівномірним процесом утворення технологічної мікротріщинуватості в процесі видобування блоків (рис. 2).

Параметри пониженої міцності за рахунок крайових зон складають 2/3 об'єму товарного блоку, відділеного з застосуванням вибуху, тоді як при застосуванні канатного розпилу суттєвих змін міцності по об'єму блоку не відбувається.

Експериментальне визначення тріщинуватості природного каменю із застосуванням мікроскопічного методу проводилось за методикою, розробленою в Інституті надтвердих матеріалів імені В.Н. Бакуля. Використано стенд, який складається з мікроскопа ЛомоМетам Р-1 з ССD відеокамерою Digital КОСОМ.

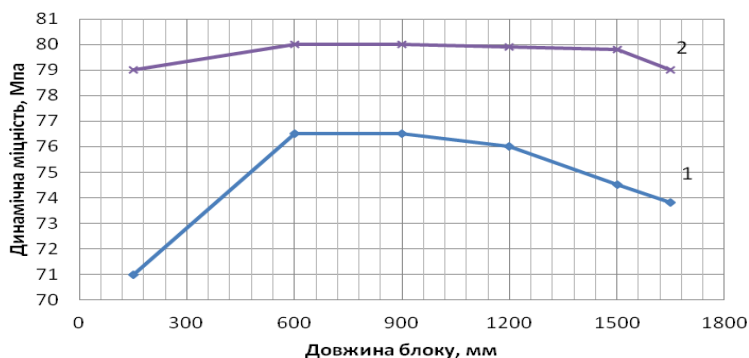


Рис. 2. Зміна динамічної міцності по довжині товарного блоку: 1 – при вибуховому способі видобування; 2 – при способі видобування блоків із застосуванням алмазно-канатних пил

На зразках за допомогою мікроскопа виявлено тріщини, які фіксуються на фотографії з метою визначення їх контуру та розмірів, дані оброблялись класичним методом «палетки», при якому тріщина наперед приймається як лінійний об'єкт. Обробка проводилась з використанням можливостей програм CorelDraw, AutoCAD і Microsoft Excel. За даною методикою вивчалась тріщинна структура гранітів та були отримані результати, представлені на рис. 3.

Реальна міцність гірської породи залежить від розмірів і кількості дефектів та тріщин. В умовах наявності великої кількості природних концентраторів напружень (мікротріщин) в зразку гірської породи руйнування методом розтягнення при вигині може статися в будь-якій точці. Тому в роботі було проаналізовано не тільки площу тріщин, але і їх глибину. Було встановлено, що глибина тріщин в зразках, видобутих з застосуванням канатного розпилу не перевищувала 70-150 мкм, тоді як в зразках видобутих з використанням вибуху складала від 100 до 900 мкм.

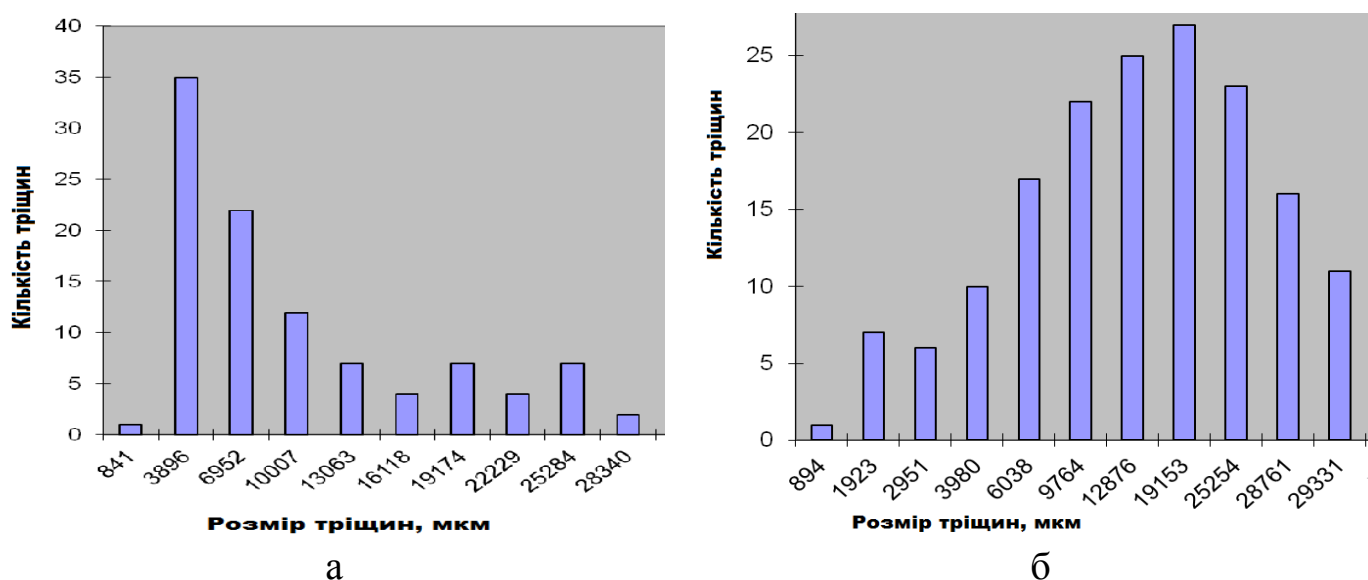


Рис. 3. Діаграма розподілу кількості тріщин в залежності від їх розміру для: а – способу видобування із застосуванням канатного розпилу; б – способу видобування із застосуванням вибуху

Використання мікроскопічного методу дослідження поверхонь зразків з різних родовищ, видобутих за допомогою вибухових технологій і канатного різання, встановило збільшення питомої площі технологічної тріщинуватості при застосуванні вибуху в 3 рази і паралельно з цим збільшення на порядок глибини самих тріщин. Також зазначено, що мікроскопічний метод заміру технологічної мікротріщинуватості є достатньо трудомістким і займає значну кількість часу, тому доцільним є поєднання мікроскопічних методик дослідження із сучасними розповсюдженими софтами, які б дозволили прискорити і спростити процес оцінки і отримання результатів.

У третьому розділі представлено результати вирішення задачі обробки цифрових зображень, отриманих в результаті проведення дефектоскопії з

використанням сучасного растрового мікроскопа РЕМ 106-І та стереомікроскопа KONUS CRYSTAL-PRO. Вибір гнучкого, всеохоплюючого і добре документованого середовища для обробки цифрових зображень є ключовим фактором, який впливає на якість кінцевого результату. Метод оцінки питомої концентрації тріщинуватості зразків з використанням класичного способу «палетки», проведений в роботі, хоча і приносить результати, але потребує значного часу і незручний.

Для досліджень використані зразки граніту видобуті буро-вибуховим способом та за допомогою канатної пили з родовищ Межиріцьке і Лезниківське. Дослідження за допомогою растрового електронного мікроскопу проводились на зразках, взятих з середини блоків. Результати проведеного аналізу зразків граніту наведені на рис. 4.

Проводячи візуальну діагностику, можна констатувати, що застосування буро-вибухового способу відділення гранітів призводить до утворення в породі розломів значних розмірів, пошкодження каменю в кількісному і якісному співвідношенні значно суттєвіші, що, в свою чергу, відповідно знижує якість блочного каменю.

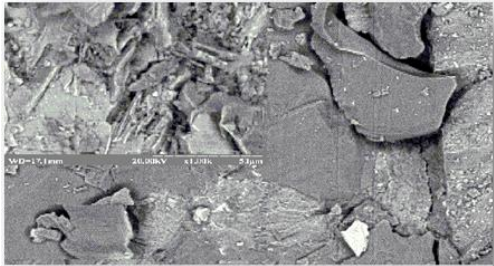
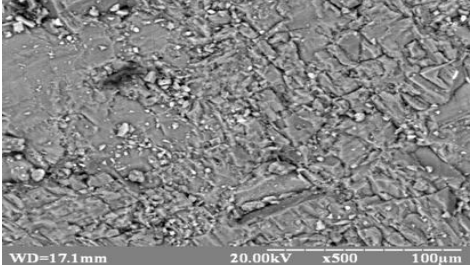
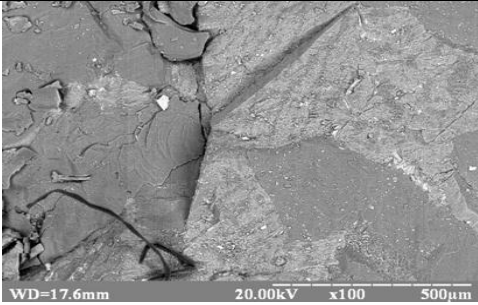
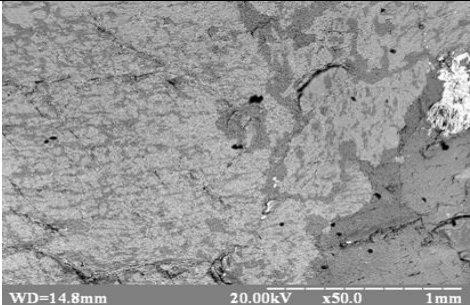
Назва родовища	Спосіб підготовки до виймання	
	Буро-вибуховий	Канатна пила
<i>Межиріцьке</i>		
<i>Лезниківське</i>		

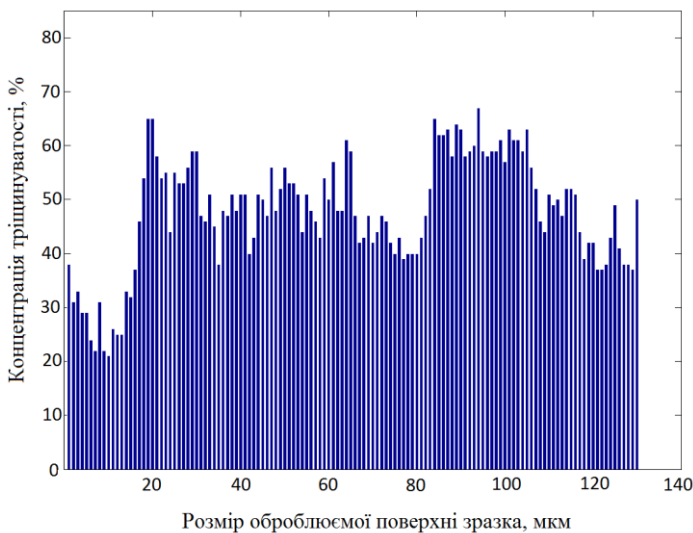
Рис. 4. Зображення зразків гранітів в результаті проведеного аналізу з використанням растрового електронного мікроскопу РЕМ-106І

Але оцінити цей процес в кількісному вигляді, провести експрес-діагностику як готових виробів з каменю, так і зразків блочної продукції, і визначити відсоткове значення глибоких тріщин з встановленням питомої концентрації тріщинуватості по цим зображенням неможливо.

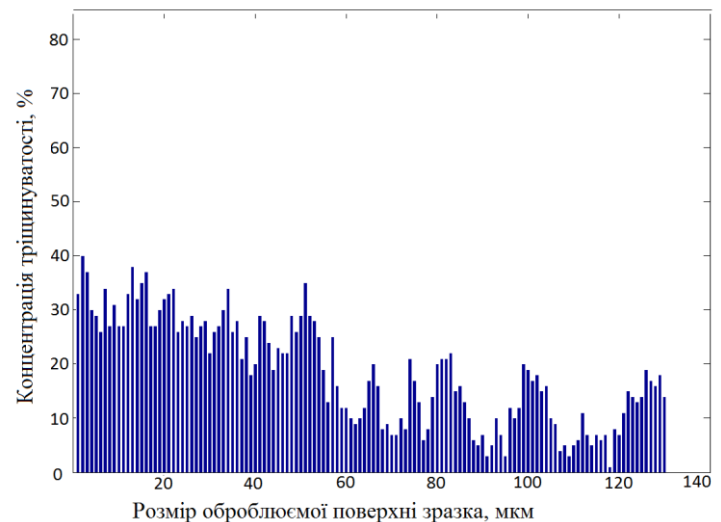
Для аналізу фотографій, отриманих на електронному мікроскопі і представлених на рис. 4, була проведена сегментація зображення за ознакою насиченості чорного кольору на зображенні. Для цього зображення представлялося у вигляді функції $f(x, y)$. Зображення являють собою темні об'єкти на світлому кольорі. В даному випадку наявність чорного кольору свідчить про глибокі розломи в зразку. Саме базуючись на інтенсивності чорного кольору, проводився аналіз зразків. Засіб виділення об'єкту з оточуючого фону полягав у виборі межі T , яка поділяє ці дві яскравості. Будь-яка точка (x, y) , для якої $f(x, y) \geq T$ буде називатися точкою об'єкту. Якщо вона не задовольняє цій умові, то відноситься до точки фону. Іншими словами, зображення $g(x, y)$, яке отримують внаслідок межової обробки, можна представити у вигляді:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{при } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{при } f(x, y) < T \end{cases} \quad (1)$$

Глобальний опис виходить при інтегруванні найбільших чорних кластерів на зображеннях. В результаті отримано гістограми, які дозволяють в кількісному значенні оцінити процентний вміст розломів на зразках. На рис. 5, 6 представлені гістограми після статистичної обробки зображень з рис. 4 за допомогою програми MATLAB.



а



б

Рис. 5. Гістограма статистичної обробки зразка граніту Межирицького родовища, відокремленого за допомогою: а - буро-вибухового способу; б - канатного розпилу

У результаті проведених досліджень в роботі запропонована нова методика експрес-діагностики для оцінки питомої концентрації технологічної

тріщинуватості в залежності від способу підготовки блоків каменю до виймання. Для зразків з Межиріцького родовища концентрація тріщинуватості при застосуванні буро-вибухових технологій складає 57 %, а при застосування канатного розпилу знижується до 22 %.

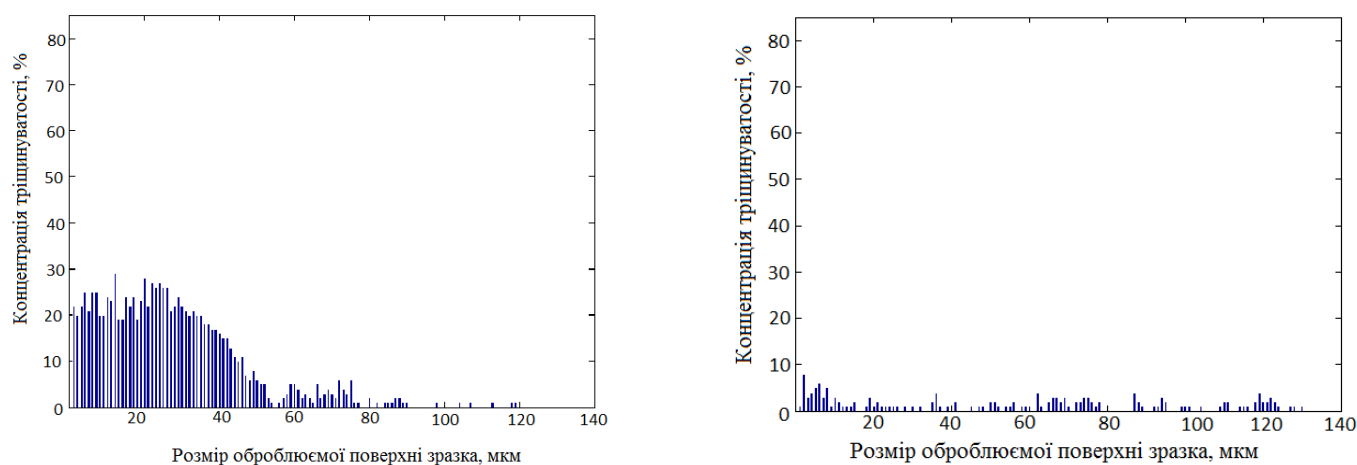


Рис. 6. Гістограма статистичної обробки зразка граніту Лезниківського родовища, відокремленого за допомогою: а - буро-вибухового способу; б - канатного розпилу

Для Лезниківського родовища концентрація тріщинуватості склала відповідно 21 % і 5 %. Порівнюючи результати класичного мікроскопічного методу досліджень з запропонованою методикою, можна зазначити, що вони співпадають. Також встановлено збільшення питомої технологічної тріщинуватості при застосуванні вибуху втричі і більше, але процес проведення цієї діагностики менш трудомісткий.

З активним розвитком електронної мікроскопії отримання цифрових зображень досліджуваних об'єктів потребує розробки нової методики обробки цифрових зображень для отримання питомої тріщинуватості в результаті застосування різних технологій видобування і обробки каменю в цифровому вигляді. В залежності від поставленої мети досліджень інформативність методів оцінки концентрації тріщинуватості різна. Тому застосування як авторських програм, так і методик з використанням досить поширених софтів, мають право на існування, тим більше, що зацікавленість в розробці нових простих і швидких методик обробки цифрових зображень зразків декоративного каменю і виробів з нього з метою оцінки концентрації технологічної мікротріщинуватості зазначено в довідці про використання результатів дослідження даної дисертації в роботі Державного гемологічного центру України при проведенні експертиз дефектності декоративного каменю.

У четвертому розділі наводяться результати теоретичних досліджень явища активізації тріщиноутворення в процесі підготовки блоків до відділення на уступі. Поряд з створенням нових технологій руйнування, заснованих на нетрадиційних рішеннях (терморуїнування, вплив потоками часток високої енергії та інше) основним шляхом вдосконалення технологій відокремлення

блокового каменю від масиву є вивчення напружено-деформованого стану, фізико-механічних властивостей порід, крихкості порід, які залежать від структури, мінералогічного складу та орієнтації кристалів, а також від розмірів і форми тіла, що руйнується, виду напружень та швидкості деформування. Це пов'язано з тим, що саме взаємодія основних структурних полів в масиві – поля різномасштабних пошкоджень і поля напружень багато в чому визначають міцність та довговічність будь-яких природних і природно-технічних об'єктів, а також динаміку процесів руйнування.

Оскільки наведена тріщинуватість спричиняє додаткове зниження довговічності матеріалу в процесі експлуатації, особливої актуальності набуває процес моделювання формування зон технологічної тріщинуватості і розробка шляхів зменшення цих зон.

При проведенні експериментальних досліджень відзначено, що зміна напруженого стану в масиві при відділенні блоків призводить до його перерозподілу та формування напружених зон (рис. 7).

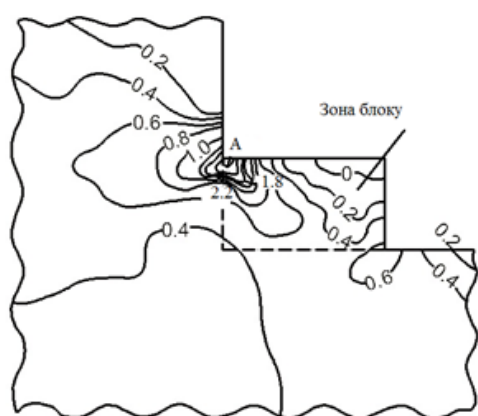


Рис. 7. Характер розподілу горизонтальних напружень σ_x , МПа

Аналіз представлених результатів виявляє в околиці точки *A* область концентрації напружень, яка представляє небезпечну зону, де порода піддається деформаціям, значення яких можуть перевершити межу міцності. По мірі заглиблення в масив ця концентрація швидко знижується. Особливо слід відзначити появу напружень розтягнення, найбільш небезпечних для гранітоїдів. Для моделювання цього процесу виконано математичну постановку задачі і розроблений алгоритм з застосуванням методу скінченних елементів (МСЕ).

При цьому розв'язувалась крайова задача теорії пружності в постановці плоскої деформації з використанням пакету Mathcad. Приймаються три типи граничних умов: дія тільки гравітаційних сил; дія на "нескінченності" рівномірно розподілених по глибині горизонтальних стискаючих тектонічних сил, викликаних рухом літосферних плит; спільна дія гравітаційних і тектонічних сил. В задачі аналізу об'єкту кінцеві рівняння МСЕ можуть бути отримані мінімізацією загальної потенційної енергії системи. Приймається, що $\{\delta\}$ – вектор переміщень внутрішніх вузлів елемента; $\{Q\}$ – вектор сил, розподілених по об'єму матеріалу; $\{P\}$ – вектор сил, розподілених по поверхні об'єкта.

Вектор вузлових переміщень можна записати у вигляді:

$$\{\delta\} = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \\ u_k \\ v_i \\ v_j \\ v_k \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Вектор деформацій ε визначається з рівнянь Коші і рівнянь закону Гука. Напруження σ можуть бути представлені в матричній формі:

$$\{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = [B]\{\delta\}, \quad \{\sigma\} = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [D]\{\varepsilon\}, \quad (3)$$

де $[D]$ – матриця зв'язку напружень і деформацій, яка відображає характеристики матеріалу. Для випадку плоско-деформованого стану вона має вигляд:

$$[D] = \frac{E}{(1-2\mu)(1+\mu)} \begin{bmatrix} 1-\mu & \mu & 0 \\ \mu & 1-\mu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де E – модуль пружності, μ – коефіцієнт Пуассона, $[B]$ – матриця похідних функції форми.

Співвідношення між вузловими силами і вузловими переміщеннями записується у вигляді рівняння жорсткості:

$$\{F\} = [K]\{\delta\}, \quad (5)$$

де $[K]$ – квадратна матриця жорсткості елемента, а $\{F\}$ і $\{\delta\}$ – відповідно вектори сил і переміщень для елемента.

$\{F\}$ – вектор еквівалентних вузлових сил, до якого наводяться всі поверхневі $\{P\}$ і розподілені по об'єму сили $\{Q\}$, які діють на даний кінцевий елемент,

$$\{P\} = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \end{bmatrix} \text{ – вектор поверхневих сил, } \{Q\} = \begin{bmatrix} q_x \\ q_y \end{bmatrix} \text{ – вектор об'ємних сил}$$

(напружень). Тоді матрицю жорсткості кінцевого елемента можна представити у вигляді:

$$[K] = \int_V [B]^T [D][B] dV = \Delta [B]^T [D][B], \quad (6)$$

де Δ – площа елемента.

Формуємо в пакеті Mathcad таблиці вихідних даних з інформацією про вузли елементів і задані вузлові сили та переміщення. Для певного виду гранітоїду формуються матриці $[B]$ і $[D]$, а також формується матриця жорсткості. В результаті проведеного моделювання отримуємо розподіл полів напружень і деформацій, які наведені на рис. 8, 9.

В результаті проведення числового моделювання отримані для конкретного граніту результати повністю співпадають з експериментальними результатами по утворенню напружених зон в кутовій частині уступу. При значенні робочого кута уступу 90^0 дотичні напруження τ_{xy} набувають максимальних значень на стискання $-7,24$ МПа, а максимальних значень на розтягнення $-7,38$ МПа. Для гранітів, у яких міцність на згин складає 18 МПа, напружені зони з такими значеннями дотичних напружень призводять до активного процесу тріщиноутворення з відповідним зниженням якісних характеристик видобутих блоків.

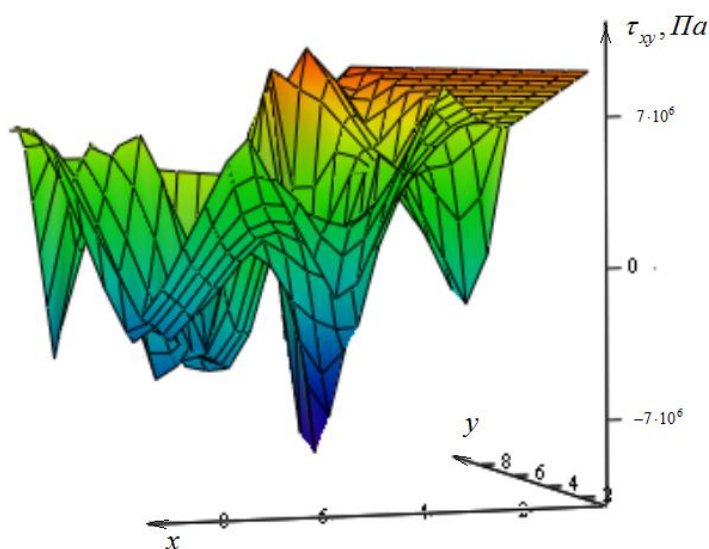


Рис. 8. Розподіл дотичних напружень τ_{xy} при значенні куткової зони 90^0 . Мах значення $-7,24$ МПа, min значення $-7,38$ МПа

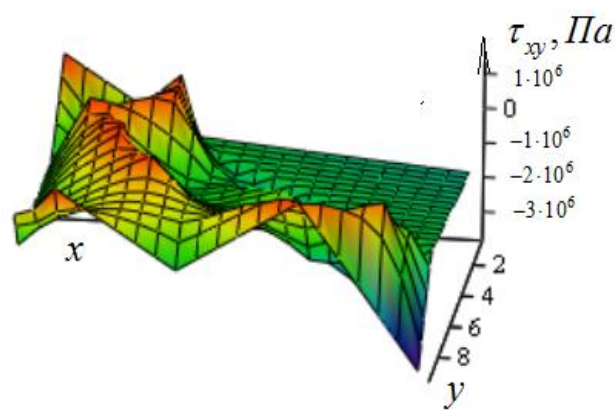


Рис. 9. Розподіл дотичних напружень τ_{xy} при значеннях куткової зони 80^0 . Мах значення $-1,19$ МПа, min значення $-3,69$ МПа

Застосування технологічних прийомів, які призведуть до зменшення робочого кута уступу на 10^0 , дозволить знизити в кутових зонах дотичні напруження стискання з $7,24$ до $1,19$ МПа, а на розтягнення - з $7,38$ до $3,69$ МПа. Відповідно знижується процес утворення технологічної тріщинуватості, що дозволить отримувати блоки більших розмірів за рахунок чого підвищується ефективність видобування блокового каменю на кар'єрах.

Встановлено, що при зменшенні кута укусу інтенсивність формування зональних напружень знижується і може бути описана поліноміальними

залежностями виду: для стиснення $y = 0,265x^2 - 3,109x + 10,074$ і для розтягнення $y = -0,2493x^2 + 2,4007x - 9,506$. Змінюючи кут уступу, можна регулювати динаміку процесу тріщиноутворення в процесі відокремлення блоків від масиву.

В результаті можна встановити залежність утворення максимальних зональних напружень в масиві від різних кутів уступу при відділенні блоків, представлених на рис. 10.

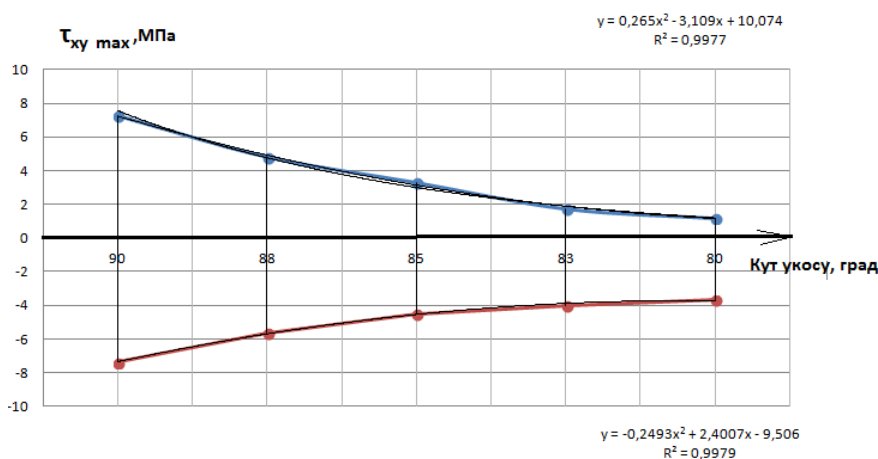


Рис. 10. Залежність інтенсивності напружень в кутовій зоні від кута уступу робочого уступу

Найбільш критичні, з точки зору інтенсифікації процесу тріщиноутворення для гранітоїдів, напруження розтягнення, які виникають при частковому розвантаженні уступу. За рахунок збільшення розвантажуючих напружень в кутових зонах утворюються деформації, які складають 40-50 % від граничних критичних значень деформацій руйнування гранітів при одновісному розтягненні. Саме за рахунок утворення такої зональної технологічної мікротріщинуватості можна пояснити зниження міцнісних характеристик в кутах блоків. Розроблена методика та програмне забезпечення аналізу утворення концентрації критичних напружень, закономірностей їх просторового розподілу може стати шляхом вдосконалення технологій відокремлення блокового каменю від масиву. Збільшуючи кут уступу на 10^0 , можна вдвічі знизити зональні напруження розтягнення і тим самим підвищити якість видобутих блоків.

У п'ятому розділі проведено економічне обґрунтування впливу параметрів системи розробки на вихід блокової продукції. Кондиції на мінеральну сировину являють собою сукупність граничних вимог щодо якості та кількості мінеральної сировини в надрах та гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов розробки, дотримання яких забезпечить найбільш повний і економічно ефективний видобуток запасів граніту. Згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-197:2009, Інструкції Державної комісії по запасам та із застосуванням Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр до родовищ будівельного і облицювального каменю та інших нормативних документів, на родовищах природного каменю, придатного для виробництва облицювальних виробів, необхідно враховувати загальний вихід

блоків із гірничої маси. Згідно з нормативними вимогами до товарної продукції проводиться розподіл видобутих блоків за групами: блоки I групи (більше $5,0 \text{ м}^3$), блоки II групи ($3,5\text{-}5,0 \text{ м}^3$), блоки III групи ($2,0\text{-}3,5 \text{ м}^3$) і блоки IV групи ($1,0\text{-}2,0 \text{ м}^3$).

В результаті проведеного економічного аналізу Анастасіївського родовища гранітів Кіровоградської області, на якому видобуваються блоки декоративного каменю для виготовлення облицювальних плит та супутно бутощебенева продукція, було встановлено, що річний валовий прибуток підприємства на 94 % складає реалізація блочної продукції. Ця блочна продукція ділиться на три категорії в залежності від об'ємів блоків і хоча собівартість блочної продукції однакова і складає 4200,00 грн. за 1 м^3 , відпускна ціна різна. Найбільш економічно доцільний видобуток блоків I категорії, їх відпускна ціна на 24 % перевищує собівартість і дає можливість отримувати значний прибуток, тоді як блоки III категорії видобуваються практично без прибутку. Але технологія видобування блоків на кар'єрах не дозволяє проводити селективне виймання, а примушує вибирати всі блоки. Тому технологічні засоби, які дозволяють збільшити вихід блоків високої категорії, мають перспективу. Згідно з актом випробувань у виробничих умовах Анастасіївського кар'єру зміна робочого кута уступу на 10° при підготовці блокового каменю до виймання призвела до збільшення кількості видобутих блоків першої групи на 1 % при незмінних загальних обсягах видобування. Проведений в роботі порівняльний розрахунок очікуваного річного валового доходу при двох варіантах (варіант 1 – кут укосу робочого уступу 90° і варіант 2 – кут укосу робочого уступу 80°) показав, що у другому варіанті, за рахунок збільшення виходу кількості блоків першої категорії при незмінних обсягах видобування вдалося досягти збільшення загальної вартості товарної продукції і отримати збільшення валового річного прибутку підприємства на 180 тис.грн.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальну науково-практичну задачу вдосконалення способу управління технологічною тріщинуватістю гірських порід при підготовці блокового каменю до виймання та підвищення якості облицювальної продукції за рахунок розробки параметрів технології відокремлення блоків.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Виконано аналіз теоретичних і експериментальних досліджень з питань удосконалення технології підготовки блокового декоративного каменю до виймання. Показано, що не дивлячись на досягнені результати, задача вдосконалення технологічних прийомів, які б могли знизити утворення технологічної тріщинуватості вимагає свого подальшого вирішення.

2. Встановлено, що застосування вибухових способів відділення блоків декоративного каменю знижує динамічний модуль пружності гірської породи на 20 %. При цьому загальний об'єм крайових зон пониженої міцності складає 2/3 об'єму товарного блока, тоді як при застосуванні канатного розпилу суттєвих змін міцності по об'єму блока не відбувається.

3. Аналіз отриманих результатів дефектоскопії в залежності від способу відділення гранітних блоків показав, що застосування буро-вибухових технологій призводить до збільшення не лише питомої площі технологічної тріщинуватості в 3 рази, а й збільшення їх глибини до 900 мкм порівняно з 70 мкм при канатному розпилі.

4. Розроблено методику експрес-діагностики питомої тріщинуватості зразків гранітів з різних родовищ з використанням програмного середовища MATLAB, яка дає кількісну оцінку питомої дефектності і може використовуватись при проведенні експертиз дефектності блоків та виробів з них.

5. Створено алгоритм для моделювання процесу зміни інтенсивності напружень в кутовій зоні в залежності від кута уступу. Розроблено методику та програмне забезпечення для визначення зон концентрації критичних напружень, закономірностей їх просторового розподілу, що сприяють вдосконаленню технологій відокремлення блокового каменю від масиву. Встановлено, що зменшення кута робочого уступу на 10^0 вдвічі знижує зональні кутові напруження і тим самим підвищує якість видобутих блоків.

6. Встановлено, що зона, прилегла до нижнього кута уступу є областю концентрації напружень, які сприяють інтенсифікації процесу розвитку додаткової мікротріщинуватості, істотно знижуючи характеристики міцності блокового каменю. Отримано залежності максимальних зональних напружень в масиві від різних кутів уступу при відділенні блоків.

7. Згідно з економічним аналізом для Анастасіївського родовища гранітів, зменшення кута робочого уступу на 10^0 призвело до збільшення видобутку блоків 1 категорії на 1 %, що сприяло збільшенню загальної вартості товарної продукції і дозволило підвищити валовий річний прибуток підприємства на 180 тис. грн.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях:

1. Горобчишин О.В. Підвищення безпеки праці під час видобутку облицювального каменю за допомогою алмазно–канатного різання [Текст] / Н.В. Зуєвська, Ю.В. Волик, О.В. Горобчишин, В.О. Білоіван // Проблеми охорони праці в Україні Зб. наук. праць ННДПБОП – 2010. – Вип. 20. – С. 119–124.

Особистий внесок дисертанта: обґрунтування актуальності застосування алмазно-канатного способу відділення блоків на кар'єрах.

2. Горобчишин О.В. Застосування мікроскопічного методу для оцінки довговічності облицювальних виробів з природного каменю в залежності від технології видобування сировини [Текст] / Н.В. Зуєвська, О.В. Горобчишин, Л.С. Табунщик // Зб. наук. праць НГУ Дніпропетровськ – 2013. – №42. – С. 133–137.

Особистий внесок дисертанта: відбір зразків і аналіз застосування мікроскопічного методу для оцінки дефектності виробів з природного каменю.

3. Горобчишин О.В. Дослідження впливу способу видобутку блочного каменю на його підповерхневу структуру [Текст] / Н.В. Зуєвська, О.В. Горобчишин, О.Є. Мацук // Вісник Житомирського Державного технологічного університету. Серія „Технічні науки”. – 2013. – № 4 (67). – С. 103-109. (включено до баз даних «DOAJ, Ulrich's Periodicals Directory; WorldCat; BASE; eLibrary.ru, Google Scholar, ResearchBib»)

Особистий внесок дисертанта: проведено збір інформації про технологічні параметри при відборі зразків.

4. Горобчишин О.В. Цифрова обробка електронних зображень під поверхневої структури гранітних блоків за допомогою програми MATLAB [Текст] / Н.В. Зуєвська, В.О. Поліщук, О.В. Горобчишин // Вісник Житомирського Державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2014. – №4(71). – С. 131–137. (включено до баз даних «DOAJ; Ulrich's Periodicals Directory; WorldCat; BASE; eLibrary.ru; Google Scholar; ResearchBib»)

Особистий внесок дисертанта: тестування і обробка цифрових зображень, використовуючи існуючих математичних алгоритмів за допомогою обчислювальної техніки.

5. Горобчишин О.В. Числове моделювання зональної технологічної тріщинуватості на кар'єрах декоративного каменю [Текст] / О.В. Горобчишин // Вісник Житомирського Державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 4(75). – С. 111–116. (входить до переліку міжнародної науково–метричної бази даних WorldCat; BASE; Ulrich's Periodicals Directory; eLibrary; Google Scholar, ResearchBib»)

6. Горобчишин О.В. Перерозподіл напруг в межах блоку що відокремлюється на кар'єрах декоративного каменю [Текст] / Н.В. Зуєвська, В.О. Поліщук, О.В. Горобчишин // Вісник Житомирського Державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2016. – № 1(76). – С. 144–148. (входить до переліку міжнародної науково-метричної бази даних WorldCat; BASE; Ulrich's Periodicals Directory; eLibrary; Google Scholar, ResearchBib»)

Особистий внесок дисертанта: створення математичної моделі перерозподілу напруг на уступі в процесі видобування.

В інших науково-технічних виданнях:

7. Горобчишин О.В. Лабрадорити родовища Осники [Текст] / О.В. Горобчишин, А.М. Кічняєв // Коштовне та декоративне каміння. – 1999. – Київ, ДГЦУ. – №2(16). – С. 45–46.

Особистий внесок дисертанта: аналіз якісних показників декоративності лабрадориту Осниківського родовища.

8. Горобчишин О.В. Якісні характеристики виробів з декоративного каміння та методики їх визначення, які використовуються у міжнародній практиці [Текст] / О.Л. Гелета, О.В. Горобчишин, А.М. Кічняєв // Коштовне та декоративне каміння. – 2003. – Київ, ДГЦУ. – №3(33). – С. 38–45.

Особистий внесок дисертанта: обґрунтування якісних характеристик декоративного каміння та методів його оцінки.

9. Горобчишин О.В. Оцінка блиску полірованої поверхні декоративного каміння [Текст] / О.Л. Гелета, О.В. Горобчишин, І.А. Сергієнко // Коштовне та декоративне каміння. – 2011. – Київ, ДГЦУ. – №3(65). – С. 12–15.

Особистий внесок дисертанта: експериментальна оцінка блиску 179 зразків декоративного каменю.

10. Горобчишин О.В. Зависимость долговечности облицовочных изделий из природного камня от технологии добычи сырья [Текст] / Н.В. Зуевская, О.В. Горобчишин // Коштовне та декоративне каміння. – 2012. – Київ, ДГЦУ. – №4(70). – С. 40–42.

Особистий внесок дисертанта: експериментальне дослідження електронно-акустичним пристроєм однорідності матеріалу.

11. Горобчишин О.В. Дослідження доцільності та підстав запровадження в Україні на базі вітчизняного законодавства старательського видобутку природного каміння. Формування бази даних нормативних актів, що регламентують проведення старательського видобутку корисних копалин [Текст] / О.Л. Гелета, О.В. Горобчишин // Коштовне та декоративне каміння: – 2013. – Київ, ДГЦУ. – № 1 – 2(71–72). – С. 33–35.

Особистий внесок дисертанта: аналіз інформаційних джерел та нормативно-правових актів, які регламентують старательський видобуток корисних копалин.

12. Горобчишин О.В. Вплив технології видобутку природного каменю на мікрорельєф поверхні готових виробів [Текст] / Н.В. Зуєвська, О.В. Горобчишин / Зб. наук. праць SWorld. – 2014. – Вип. 2. – том 31 – №42. – С. 53–59. (включено до баз даних «РИИЦ SCIENCE INDEX»)

Особистий внесок дисертанта: дослідження якості блочного каменю з використанням електронної мікроскопії.

13. Горобчишин О.В. Особливості вивітрювання виробів з декоративного каміння у північній та західній частинах України [Текст] / О.Л. Гелета, І.А. Сергієнко, О.В. Горобчишин, А.М. Кічняєв // Коштовне та декоративне каміння: – 2014. – Київ, ДГЦУ. – №2(76). – С. 8–12.

Особистий внесок дисертанта: виконання досліджень що до особливостей вивітрювання об'єктів, виконаних з вітчизняного декоративного каміння.

14. Горобчишин О.В. Гемологічна експертиза скульптурно-монументальних виробів з декоративного каміння [Текст] / О.Л. Гелета, В.А. Нестеровський, В.В. Шунько, О.В. Горобчишин // Коштовне та декоративне каміння: – 2015. – Київ, ДГЦУ. – №4(82). – С. 10–15.

Особистий внесок дисертанта: вибір критеріїв для оцінки скульптурно-монументальних виробів з декоративного каміння.

Публікації за матеріалами конференцій:

15. Горобчишин О.В. Вплив технології видобутку блоків з природного каміння на довговічність облицювальних виробів [Текст] / О.В. Горобчишин // Збірник матеріалів міжнародної науково–практичної конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння» – жовтень 2012. – Київ. – С. 41–48.

16. Горобчишин О.В. Дослідження впливу видобутку блочного каменю на його довговічність за допомогою растрового електронного мікроскопа [Текст] / О.В. Горобчишин, А.М. Кічняєв // Збірник матеріалів Науково–практичної конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння» – жовтень 2013. – Київ. – С. 54–56.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментальних досліджень по скануванню поверхні об'єкта і побудови карти рельєфу проаналізованої зони.

17. Горобчишин О.В. Кількісна оцінка підповерхневої тріщинуватості сировинних гранітних блоків за допомогою цифрової обробки електронних зображень у програмному середовищі MATLAB [Текст] / Н.В. Зуєвська, О.В. Горобчишин // Збірник матеріалів міжнародної Науково–практичної конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння» – листопад 2015. – Київ. – С 11–13.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментальних досліджень по отриманню електронних зображень для подальшої обробки.

18. Горобчишин О.В. Дослідження формування зон з критичним напруженням в процесі видобутку гранітних блоків [Текст] / Н.В. Зуєвська, О.В. Горобчишин, А.О. Дроботущенко // Збірник матеріалів VIII міжнародної науково–технічної конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (конференція молодих вчених – аспірантів і магістрантів) – червень 2016. – Київ. – С.152–156.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментальних досліджень та проведення аналізу отриманих результатів.

19. Свідоцтво. Науковий твір «Методика встановлення ступеня збереженості архітектурних пам'яток з природного каміння»/ Гелета О.Л., Горобчишин О.В., Кічнев А.М, Ляшок В.І., Сергієнко І.А., Ткаленко А.М.; заявник Державний Гемологічний центр України. – № 63088, Дата реєстрації 22.12.2015.

Особистий внесок дисертанта: визначення ступеня агресивної дії оточуючого середовища на архітектурні об'єкти з природного каміння.

АНОТАЦІЯ

Горобчишин О.В. Розробка наукового супроводу управління технологічною тріщинуватістю блокового каменю при підготовці до виймання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. – Національний технічний університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2017.

Дисертацію присвячено розв'язанню актуальної наукової задачі, пов'язаної з аналізом і оцінкою технологічної тріщинуватості гірських порід при вийманні блоків, а також призначення технологічних прийомів, які б могли знизити утворення технологічної тріщинуватості.

В роботі запропоновано методику експрес-діагностики питомої тріщинуватості зразків гранітів з різних родовищ з використанням програмного середовища MATLAB. Методика дає кількісну оцінку питомої дефектності і може використовуватись при проведенні експертиз дефектності блоків та виробів з них.

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що околиця кута уступу є областю концентрації високих напружень, які сприяють інтенсифікації процесу розвитку додаткової мікротріщинуватості, істотно знижуючи характеристики міцності блокового каменю.

Створено алгоритм для моделювання процесу зміни інтенсивності напружень в кутовій зоні в залежності від кута уступу. Розроблена методика та програмне забезпечення аналізу утворення зон концентрації критичних напружень, закономірностей їх просторового розподілу, що сприяють вдосконаленню технологій відокремлення блокового каменю від масиву.

Основні результати досліджень передано до впровадження у вигляді методик і рекомендацій в Державний гемологічний центр України (ДГЦУ), на кар'єр Танського родовища ПАТ «Київського заводу «Граніт», на кар'єр Анастасіївського родовища гранітів.

Ключові слова: скельні породи, технологічна тріщинуватість, якість блоків, декоративний камінь, уступ.

АННОТАЦИЯ

Горобчишин О.В. Разработка научного сопровождения управления технологической трещиноватостью блочного камня при подготовке к выемке. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.03 – открытая разработка месторождений полезных ископаемых. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2017.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи, связанной с анализом и оценкой технологической трещиноватости горных пород при выемке блоков, а также разработка технологических приемов, которые могли бы снизить образование технологической трещиноватости.

От выбора способа подготовки блочного камня к выемке зависит качество полученной продукции. Согласно исследованиям, представленным в работе, распространенным способом подготовки камня к выемке в Украине остается все еще взрывной, но в последнее время бурно развивается механический способ с использованием канатного пиления. В работе изучены закономерности изменения прочностных свойств блоков без разрушения горной породы, путем применения современных неразрушающих методик дефектоскопии, которые позволяют проводить контроль качества камня и изделий из него с целью выявления внутренних и скрытых дефектов, и анализировать интенсивность процесса технологического трещинообразования. Сначала реализовано визуальный метод дефектоскопии с помощью оптических приборов с получением цифровых изображений, которые можно в дальнейшем обрабатывать. Применение ультразвуковых методов при исследовании горных пород позволяет значительно расширить круг вопросов, связанных с изучением физических свойств и структурных особенностей горных пород. Главным вопросом, который успешно можно решить с помощью ультразвуковых методов исследования горных пород, является изучение внутренней структуры горных пород.

В работе предложена методика экспресс-диагностики удельной трещиноватости образцов гранитов из разных месторождений с использованием программной среды MATLAB. Методика дает количественную оценку удельной дефектности и может использоваться при проведении экспертиз дефектности блоков и изделий из них.

Несмотря на создание новых технологий разрушения, основным путем совершенствования технологий отделения блочного камня от массива является изучение изменения напряженного состояния массива и физико-механических свойств пород. Это связано с тем, что взаимодействие основных структурных полей в массиве - поля повреждений и поля напряжений, во многом определяет

прочность, долговечность и динамику процессов разрушения декоративного камня и изделий из него.

На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что зона угла уступа является областью концентрации высоких напряжений, способствующих интенсификации процесса развития дополнительной микротрещиноватости, существенно снижая прочностные свойства блочного камня. Наиболее критические с точки зрения интенсификации процесса трещинообразования для гранитоидов напряжения растяжения, возникающие при частичной разгрузке уступа. За счет увеличения разгружающих напряжений в угловых зонах образуются деформации, которые составляют 40-50 % от предельных критических значений деформаций разрушения гранитов при одноосном растяжении. Именно за счет образования такой зональной технологической микротрещиноватости можно объяснить снижение прочностных характеристик в углах блоков.

Создан алгоритм для моделирования процесса изменения интенсивности напряжений в угловой зоне в зависимости от угла рабочего уступа. Разработана методика и программное обеспечение анализа образования зон концентрации критических напряжений, закономерностей их пространственного распределения, способствующих совершенствованию технологий отделения блочного камня от массива.

Исследования, проведенные в работе, свидетельствуют об эффективности применения предложенных рекомендаций по оптимизации рабочего угла уступа с целью снижения интенсивности технологической трещиноватости продукции.

Согласно с экономическим анализом, проведенным для Анастасиевского месторождения гранитов, уменьшение угла рабочего уступа привело к увеличению добычи блоков 1 категории на 1 %, что способствовало увеличению общей стоимости товарной продукции и позволило повысить валовой годовой доход предприятия на 180 тыс. грн.

Основные результаты исследований переданы к внедрению в виде методик и рекомендаций в Государственный геммологический центр Украины (ГГЦУ), на карьер Танского месторождения ПАО «Киевский завод «Гранит», на карьер Анастасиевского месторождения гранитов.

Ключевые слова: скальные породы, технологическая трещиноватость, качество блоков, декоративный камень, уступ.

ABSTRACT

Horobchyshyn O.V. Development of scientific support for the process of management of stone blocks fracture in preparation for a recess - Manuscript.

Ph.D. thesis in Engineering Science, specialty 05.15.03 – Opencast Mining Operation – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, 2017.

The dissertation is devoted to the solution of actual scientific problems related to the analysis and assessment of the process of technological fracturing of rocks at blocks recessing, development of processing methods that could reduce the formation of fracturing technology .

The thesis proposed a rapid diagnosis method of the specific fracturing of granite samples from different deposits by using MATLAB. The technique provides a quantitative assessment of specific defects and can be used during examinations of defective blocks and their products.

On the basis of theoretical and experimental studies was established that the margin of the berm's angle is an area of high stress concentration, which contributes to the intensification of the process of additional microcracks, significantly reducing the strength of stone blocks .

The algorithm for the simulation of stress intensity changes in the corner region, depending on the angle of the berm; the technique and software for the analyse of concentration zones formation of the critical stress, their patterns of spatial distribution which promotes the developing of separation technology of stone blocks from the array were created.

The main results of the studies were submitted to the introduction of methodologies and recommendations to the State Gemological Centre of Ukraine (SGCU), to the quarry of Tang deposit of "Kiev factory" Granite", to the granite quarry of Anastasievskiy deposit.

Key words: rocks, fracturing technology, the quality of the blocks, decorative stone, ledge.

ГОРОБЧИШИН ОЛЕГ ВІКТОРОВИЧ

РОЗРОБКА НАУКОВОГО СУПРОВОДУ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ
ТРІЩИНУВАТИСТЮ БЛОКОВОГО КАМЕНЮ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ДО ВИЙМАННЯ

Спеціальність 05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин

(Автореферат)

Підписано до друку 08.02.2017 р.
Формат 60×90 1/16. Папір друк. Умовн. арк. 0,9.
Друк трафаретний (різографія). Наклад 100 прим.