

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

Ковтун Андрій Іванович



УДК 622.231;235

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КЕРОВАНОГО РОЗКОЛУ КАМ'ЯНИХ
БЛОКІВ НЕВИБУХОВИМИ РУЙНУЮЧИМИ СУМІШАМИ**

Спеціальність 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі охорони праці, промислової та цивільної безпеки в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
КРАВЕЦЬ Віктор Георгійович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», професор кафедри геоінженерії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Воробйов Віктор Васильович,
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського МОН України,
директор навчально-наукового інституту механіки і
транспорту

кандидат технічних наук
Шлапак Володимир Олександрович,
Житомирський державний технологічний
університет, доцент кафедри розробки родовищ
корисних копалин ім. проф. М.Т. Бакка

Захист відбудеться «31» травня 2018 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.22 при Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, корп. 22 ауд. 701.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розіслано «28» квітня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.В. Вапнічна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В надрах України сконцентровано значні унікальні родовища природного каменю, який широко застосовується в будівництві, архітектурі, художньому різанні каменя. Сумарні розвідані запаси декоративної сировини становлять понад 500 млн. м³.

Одна з головних проблем при видобутку природного каменю – це необхідність зменшення втрат кам'яної продукції в процесі відділення монолітів від масиву і підвищення її якості. Основним технологічним процесом, що змінює агрегатний стан каменю, є підготовка його до виймання.

Розвиток і освоєння нових методів видобутку і обробки природного каменю дали змогу значно розширити області використання каменю і зменшити його собівартість.

Вибір методів та технології видобутку кам'яних блоків вирішується комплексно. При вирішенні цієї задачі необхідно враховувати такі показники: геологічні особливості масиву, наявність та ступінь природної тріщинуватості породи, її анізотропні властивості, економічні можливості підприємства, запланований об'єм виробництва, вимоги до якості блоків та кінцевого продукту виробництва.

Удосконалення відомих і розробка нових ефективних методів та засобів видобутку кам'яних блоків повинні забезпечувати підвищення економічних показників виробництва та його конкурентоздатність на сучасному світовому ринку природного каменю. Через видиму перевагу статичних режимів відділення монолітів декоративного каменю над динамічними завдяки збереженню цілісності монолітів гірнича практика при можливості схиляється до розробки таких родовищ статичними методами. За результатами досліджень одним з перспективних статичних способів видобутку природного каменю є руйнування невибуховими руйнуючими сумішами (НРС).

Ефективне застосування НРС потребує вивчення закономірностей протікання фізичних та механічних процесів в скельному середовищі в часі реалізації методу. Ці питання вимагають встановлення закономірностей формування напружено – деформованого стану природного каменю в часі розширення НРС в системі шпурів, розробки на їх основі методів керованого відколювання в умовах анізотропного скельного масиву з метою отримання якісної суцільної площини відриву та відповідно удосконалення технологічних параметрів видобутку кам'яних блоків. Розв'язання цього **актуального науково – практичного завдання** дасть змогу підвищити ефективність технології видобування декоративного каменю, покращити якість блокової продукції та скоротити втрати цінної сировини.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі охорони праці, промислової та цивільної безпеки КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до ініціативної науково-дослідної роботи «Розробка енергозберігаючого обладнання для видобутку гранітних блоків», (№ держреєстрації 0112U0084050), у якій автор брав участь як співвиконавець.

Мета та задачі досліджень. Метою роботи є теоретичне і експериментальне обґрунтування раціональних технологічних параметрів видобутку кам'яних блоків

шпуровим методом шляхом утворення в анізотропній породі тріщини відриву заданого напрямку з допомогою НРС і керуючої пластини – вставки.

Відповідно до поставленої мети поставлені наступні задачі досліджень:

- вибір і обґрунтування теоретичної моделі гірської породи з визначенням параметрів напруженого стану навколо шпура при дії НРС в залежності від товщини керуючої пластини – вставки та її орієнтації відносно більшої осі анізотропії породи;
- дослідження закономірностей розвитку в процесі кристалізації НРС головних розтягуючих напружень з урахуванням анізотропії природного каменю для керування напрямком тріщиноутворення;
- розробка методичних рекомендацій та технологічних параметрів застосування шпурової системи з агрегатом на основі пластини – вставки і впровадження у виробництво комплексу обладнання для керованого формування тріщини відриву в анізотропному скельному масиві.

Об'єкт дослідження – процеси формування в ощадливому режимі відривної монотріщини в масиві декоративного каменю.

Предмет дослідження – параметри напружено – деформованого стану гірської породи різного ступеня анізотропії навколо шпурів з НРС в присутності агрегату для керованого тріщиноутворення.

Методи досліджень. В дисертації використано комплекс сучасних методів досліджень: аналіз та узагальнення науково-технічних досягнень у галузі технології видобутку кам'яних блоків; математичний апарат для розв'язання плоских задач теорії пружності схем навантаження шпурів; атестований програмний скінченноелементний комплекс “ANSYS Workbench”, експериментальні методики визначення навантаження шпурів за допомогою НРС, лабораторні дослідження, а також полігонні дослідження процесів, які супроводжують розкол блоків в реальних виробничих умовах.

Наукова новизна отриманих результатів, що виносяться на захист, представлена науковими положеннями, в яких вперше:

- встановлено методом математичного моделювання, що при використанні НРС в шпурах поширеного діаметра 40 мм з керуючими пластинами – вставками раціональної товщини 5...8мм досягається випереджуюча концентрація розтягуючих напружень на торцях пластин та зменшення на 20 % максимального некерованого відхилення тріщини відриву від площини шпурів;
- модельними дослідженнями доведено, що величина довільного відхилення тріщини відриву на кут « α » від площини шпурів в породному масиві пов'язана залежностями логарифмічного типу з показником анізотропії породи, з товщиною пластини-вставки в шпурі та кутом орієнтації пластини « β » відносно більшої осі анізотропії;
- аналітично доведено, що використання пластини – вставки раціональної товщини дозволяє за рахунок керованості формування тріщини відриву збільшити відстань між шпурами на 25 % із зменшенням на 18...20 % витрати НРС.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено методику визначення технологічних параметрів і способів створення статичних навантажень з допомогою НРС і пластин – вставок на межі контуру шпурового отвору для відділення кам'яних блоків в статичному режимі;

- виходячи з аналізу отриманих теоретичних і експериментальних закономірностей формування зони тріщиноутворення з використанням НРС і пластин – вставок, розроблено комплекс портативного обладнання для створення тиску (до 40 МПа) на стінки шпура для розколу породи, підтверджений патентами на винахід;

- розроблено обладнання та технологію його застосування для розколу кам'яних блоків, що дозволяють збільшити відстань між шпурами на величину до 25 % при забезпеченні формування суцільної площини відколу породи, яка успішно випробувана на кар'єрі з видобутку блоків природного каменю;

- наукові результати досліджень реалізовано в навчальному процесі Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Особистий внесок здобувача. Автором визначено мету і задачі досліджень [1]; досліджено процес керування напрямом розколу блочного каменю [2]; проведено математичне моделювання технологічних параметрів процесу керування напрямком розколу блочного каменю [3]; визначено технологічні параметри тріщиноутворення, провів аналіз результатів [4, 6]; запропоновано безпечний спосіб розколу кам'яних блоків [5]; розроблено конструкції пластин – вставок [8, 9, 10]; розроблено спосіб управління напрямком тріщини відриву в анізотропному масиві [7].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи представлено на конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція «Сталий розвиток промисловості та суспільства» (м. Кривий Ріг, 2014 р.); VII Міжнародна науково – технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина» (м. Київ, 2015 р.); 13-а всеукраїнська науково-методична конференція «Проблеми охорони праці та цивільної безпеки» (м. Київ, 2015 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 13 наукових праць, у тому числі 5 статей в фахових виданнях України, 3 з яких включено до міжнародних наукометричних баз даних, 3 патенти України на корисну модель, 3 тез доповідей на міжнародних та національних конференціях та 2 статті в інших виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку використаних літературних джерел, який містить 135 найменувань. Загальний обсяг дисертації 144 сторінки, робота містить 59 рисунка, 11 таблиць, 2 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, дано загальну характеристику роботи, доведено необхідність проведення наукових досліджень. Сформульовано мету і задачі дослідження, вказано на зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами. Визначено об'єкт і предмет дослідження, наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, особистий внесок здобувача.

У **першому** розділі проаналізовано існуючі методи та засоби видобутку кам'яних блоків, перераховано основні фактори, які впливають на вибір технології видобутку блоків. Відзначено, що значний внесок у розвиток теорії і практики гірничих робіт в галузі відкритої розробки родовищ корисних копалин і в значній мірі в напрямку видобування цінного українського декоративного каменю внесли праці відомих українських учених: М.Т. Бакки, В.В. Бойка, О.О. Вовка, В.В.Воробйова, В.Д. Воробйова, А.Ю. Дриженка, Н.В. Зуєвської, В.Г. Кравця, А.Г. Смирнова, П.З. Лугового, Н.С. Ремез, Р. Соболевського, К.Н. Ткачука, К.К. Ткачука, М.М. Касьяна, І.Г. Сахна, Ф.І. Кучерявого, Г.І. Гайка, О.А. Темченка, О.М. Терентьєва, О.О. Фролова, С.В. Зайченка, В.В. Коробійчука, В.О. Шлапака та інших. Проаналізовано найбільш відомі сучасні методи та засоби видобутку кам'яних блоків: розпилювання канатно – абразивними та канатно – алмазними пилами; низькотемпературне руйнування; різання термогазоструменевими різакми; вибухової технології; використання невибухових руйнуючих сумішей (НРС); застосування ручних клинів та хімічних генераторів тиску, а також гідроагрегатів.

Враховуючи, що за останній час накопичено значний досвід використання НРС для видобутку кам'яних блоків, в розділі проаналізовано позитивні та негативні сторони ощадливих методів відділення монолітів з використанням розширюваних сумішей. Встановлено, що в дослідженнях цих методів недостатньо уваги приділено застосуванню керуючих елементів для управління процесом формування відривної тріщини та їх впливу на напружено – деформований стан прилеглого до шпура масиву, що може значно впливати на напрямок зародження тріщин, особливо в анізотропному породному середовищі.

За результатами проведеного аналізу наукових і прикладних матеріалів досліджень, виявлених при цьому недоліків сформульовано мету й основні задачі досліджень.

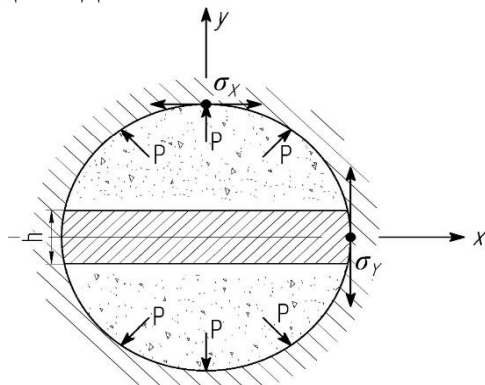


Рис.1. Розподіл тиску в шпурі з пластиною – вставкою

У **другому розділі** проведено аналітичне дослідження методів керування напрямком тріщиноутворення системою шпурів при відділенні кам'яних блоків з використанням НРС в присутності керуючої пластини – вставки. Для керування напрямком розколу породи в шпурах необхідно детально дослідити напружено – деформований стан масиву, який піддається внутрішньому тискові від розширення НРС, розподіленому по двох об'ємах сталевією пластиною в отворі шпура (рис. 1), причому цей

тиск змінюється залежно від товщини пластини –вставки.

З цією метою проаналізовано напружено – деформований стан (НДС) скельного масиву з використанням моделі ізотропного суцільного середовища. Обрані для розрахунку породи та їх механічні властивості наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Обрані для розрахунку породи та їх механічні властивості

п/п	Гірська порода	Модуль Пружності Е,МПа	Коеф. Пуасона	Межа міцності на розтяг [σ_p],МПа	Межа міцності на стиск [σ_c],МПа	Питома Вага Т/м³
1	Діабаз	93800	0,27	11	157	2,87
2	Порфірит	88500	0,31	20	160	2,93
3	Кварцовий порфір	70000	0,21	38	336	2,63
4	Граніт рожевий	57400	0,18	17	170	2,59
5	Мармур чорний	57400	0,32	21	75	2,82

Оскільки природній камінь має суттєво відмінні межі міцності на стискання [σ_c] і на розтягнення [σ_p], можна наближено в плоскому випадку побудувати ізолінії руйнування природного каменю в точці у вигляді еліпсу:

$$\frac{\sigma_x^2}{[\sigma_p]^2} + \frac{\sigma_y^2}{[\sigma_c]^2} = 1 \quad (1)$$

Осі еліпсу для різних порід визначаються згідно табличних даних [σ_p] і [σ_c].

В зв'язку з тим, що діаметр шпура набагато менший за його довжину, при дії НРС створюються умови плоскої деформації. Оскільки розподіл деформацій навколо шпура при плоскій деформації відрізняється лише константами від подібної задачі для плоского напруженого стану, моделювання розподілу напружень навколо шпура від дії НРС можна виконати на пластинках з отвором, до контуру якого прикладено напруження від дії НРС при наявності пластини – вставки. Пластини вирізаються перпендикулярно до осі шпура. Вважаємо, що краї пластини жорстко закріплені, а пластина – вставка абсолютно жорстка.

Теоретичні дослідження пластини вставки дозволили отримати епюри розподілу напружень в перерізі шпура з пластиною – вставкою (5 – 20 мм) , а також зміни розподілу напружень в залежності від товщини пластини – вставки та при різних механічних властивостях породи. Обґрунтовано вибір оптимального діапазону товщини пластини – вставки в залежності від відношення напружень σ_x/σ_y при максимальному тискові P в шпурі.

Рівняння рівноваги плоского напруженого стану записуються наступним чином:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 ; \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0. \quad (2)$$

При відповідному навантаженні розширюваною НРС стінок шпура з пластиною – вставкою матеріал гірської породи переходить в стан, який назовемо «станом за межею пружності». Напружений і деформований стан за межею пружності визначається умовою пластичності у вигляді:

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = 4k^2, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт, що визначає “межу плинності”. Оскільки, гірська порода є крихким матеріалом, можна вважати, що точка досягнення “межі плинності” буде точкою досягнення межі міцності породи на розтягнення – $k = [\sigma_p]$ і точкою зародження тріщини. В даному випадку рівняння (3) стане третьою умовою міцності.

Таким чином, маємо статично визначену задачу: три рівняння відносно трьох напружень σ_x , σ_y , τ_{xy} . При розрахунках граничні умови на контурі шпура при наявності пластини – вставки задаються згідно розподілу тиску по контуру:

$$P(h) = s_x \cos^2 q + s_y \sin^2 q + t_{yx} \sin 2q, \\ 0 = (s_y - s_x) \sin q \cos q + t_{xy} \cos 2q \quad (4)$$

де $P(h) = A(\pi R^2 - h\sqrt{4R^2 - h^2})$, A – питомий тиск від НРС в шпурі без пластини – вставки – МПа/мм², R – радіус шпура – мм, h – товщина пластини – вставки – мм.

Граничні умови на торцях пластини відповідають умовам жорсткого защемлення, коли переміщення пластини дорівнюють нулю.

Задача для плоского напруженого стану навколо шпура з пластиною – вставкою під дією НРС чисельно розв’язана з допомогою атестованого скінченноелементного програмного комплексу ANSYS Workbench. Результати проведених теоретичних досліджень наведено у вигляді епюр напружень σ_x і σ_y навколо шпурів з пластинами – вставками (рис. 2, 3).

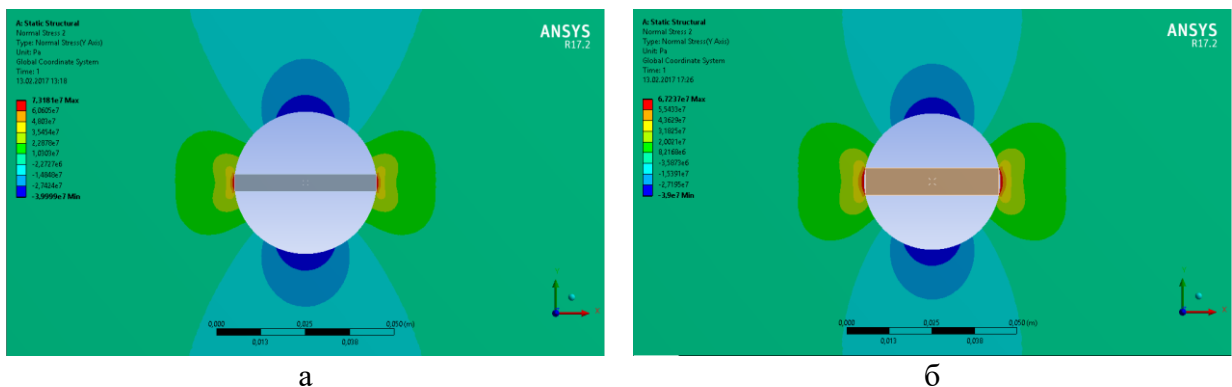


Рис.2. Епюри нормальних напружень σ_y для кварцевого порфіриту при товщині пластини-вставки 5 мм(а) та 8 мм (б)

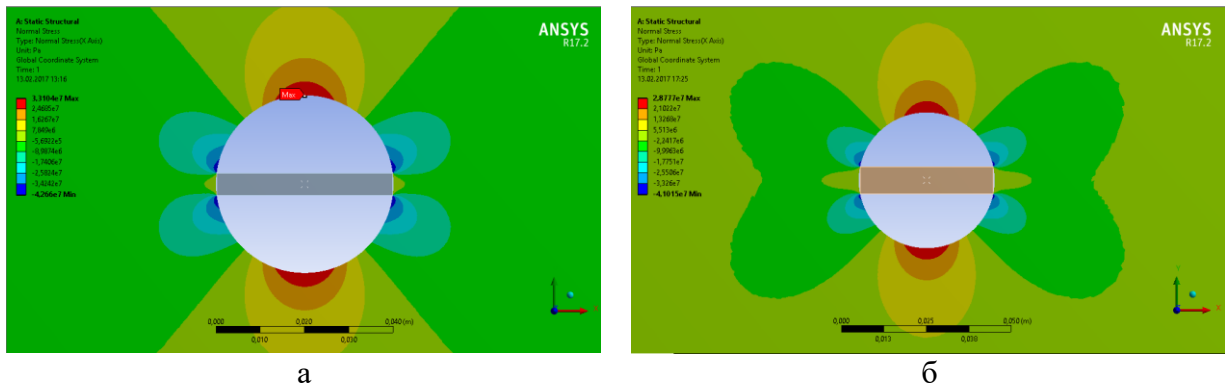


Рис.3.Епюри нормальних напружень σ_x для кварцевого порфіриту при товщині пластини-вставки 5 мм (а) та 8 мм (б)

Побудовані епюри еквівалентних напружень, які відповідають третій умові міцності для різних величин товщини пластини-вставки h теоретично доводять, що розкол каменя співпадає з поздовжньою віссю пластини-вставки (рис. 4) .

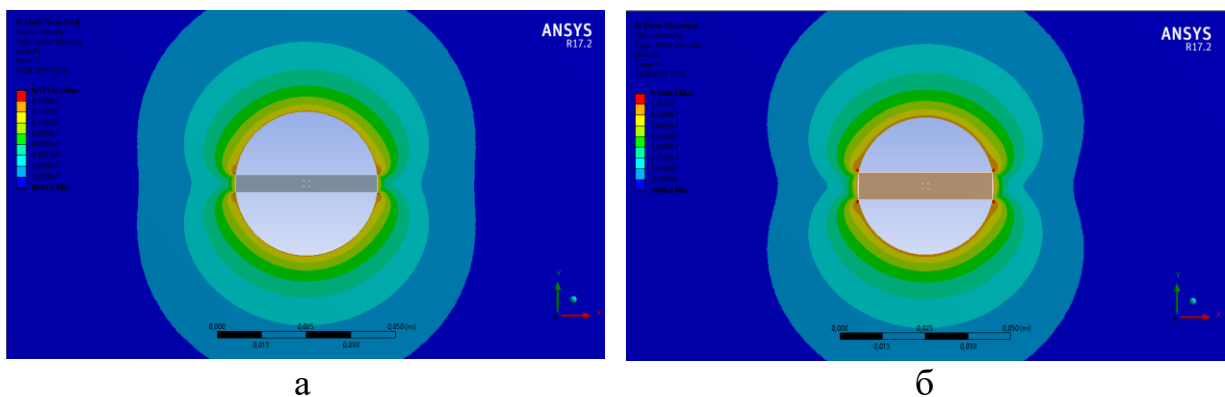


Рис. 4. Епюра еквівалентних напружень для кварцевого порфіриту при товщині пластини-вставки 5 мм (а) та 8 мм (б)

З рис. 4 слідує, що максимально розтягуючі напруження формуються на торцях пластини – вставки. Відповідно зародження тріщини розриву відбувається на осі пластини – вставки. Із зростанням товщини пластини h створюються більш сприятливі умови для тріщиноутворення в заданому пластиною напрямку. Однак при цьому значно знижується об'єм НРС в шпурі. Із залежностей (4) і властивостей НРС, які використовуються для відколу кам'яних блоків, слідує умова $h \leq 8$ мм. Доповнюючим фактором можна назвати те, що природний камінь має дуже малу зону плинності, а графік «напруження – деформація» має практично лінійний характер до досягнення межі міцності.

Отримані результати теоретичних досліджень дозволили побудувати графіки залежності співвідношення σ_x/σ_y від товщини пластин-вставок (рис. 5) та залежності σ_x від товщини пластини – вставки h (рис. 6).

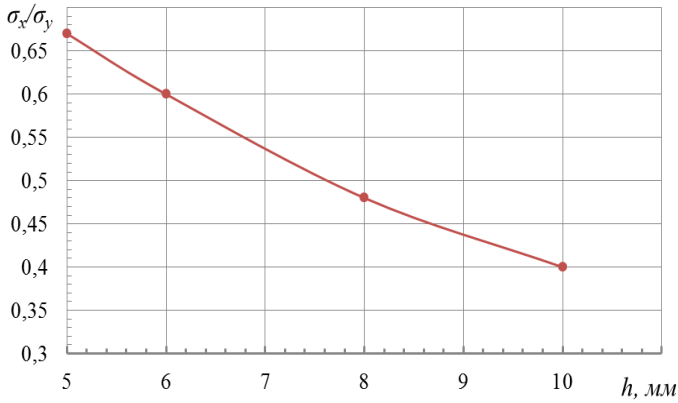


Рис. 5. Залежність відношення σ_x/σ_y від товщини пластини – вставки

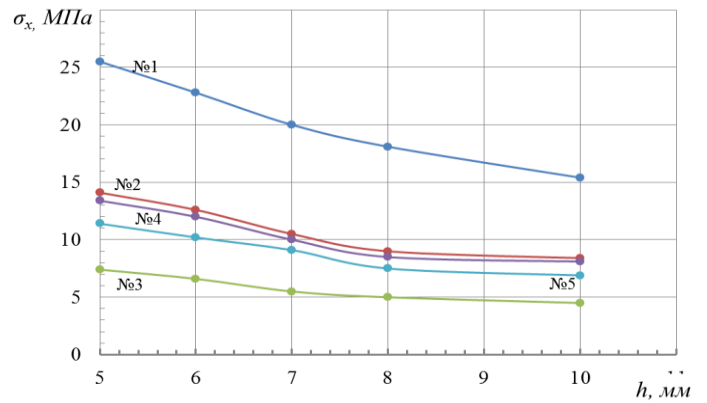


Рис. 6. Залежність σ_x від товщини пластини-вставки h ; №1-№5 – графіки залежності обраних до розрахунку порід відповідно до табл.1

Співвідношення σ_x/σ_y (рис. 5) свідчить про різницю в розтягуючих напруженнях, які виникають по осях X та Y , характеризуючи ступінь можливості отримання тріщини в заданому площинно шпурів напрямку.

Залежність $\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = f(h)$ подібна для різних порід при однакових товщинах

пластин h , що можна пояснити тим, що характер розподілу напружень для різних порід однаково залежить від модуля пружності та коефіцієнту Пуассона.

В реальних умовах при відділенні кам'яних блоків в умовах вираженої анізотропії скельного масиву в залежності від орієнтації фронту робіт відносно осей анізотропії та заданого площинно шпурів напрямку виникають умови, коли необхідно отримати тріщину відколу не по лінії найменшого опору $[\sigma_p]$, а в напрямку між осями $[\sigma_p]$ (X), і $[\sigma_c]$ (Y). В такому випадку пластина – вставка має бути орієнтована під певним кутом до потрібного напрямку розколу.

Розроблена на основі представлених нижче досліджень методика керування напрямком тріщиноутворення в секторі між осями анізотропії базується на двох припущеннях:

- ізолінії міцності породи в перерізі шпура можуть бути представлені еліпсами;

- розтягуючі напруження, що виникають в результаті кристалізації НРС в шпурі, де встановлено керуючу пластину – вставку, входять до третьої умови міцності і також описуються замкнутою кривою другого порядку, близькою до еліпса.

Дослідження методу управління напрямком тріщиноутворення в секторі між осями анізотропії базуються на аналізі зв'язків між такими параметрами:

- максимальною межею міцності породи на розтягнення $[\sigma_p]$; вважаємо, що ці напруження направлені вздовж осі X шпура;

- максимальною межею міцності породи на стиснення $[\sigma_c]$; вважаємо, що ці напруження направлені вздовж осі Y шпура;

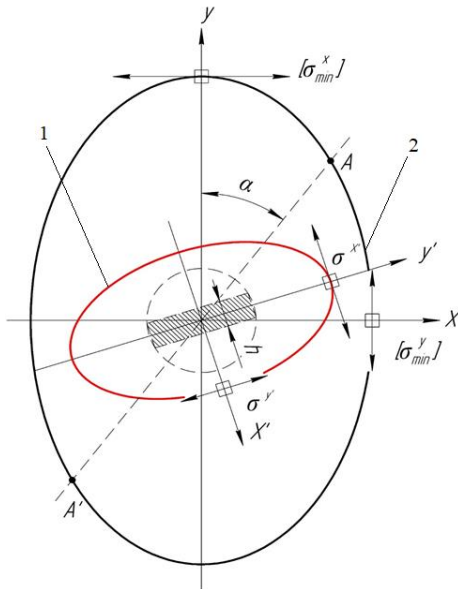


Рис.7. Епюри: 1 – розтягуючих напружень під час реакції кристалізації НРС в шпурі з пластиною – вставкою; 2 – ізолінія міцності породи.

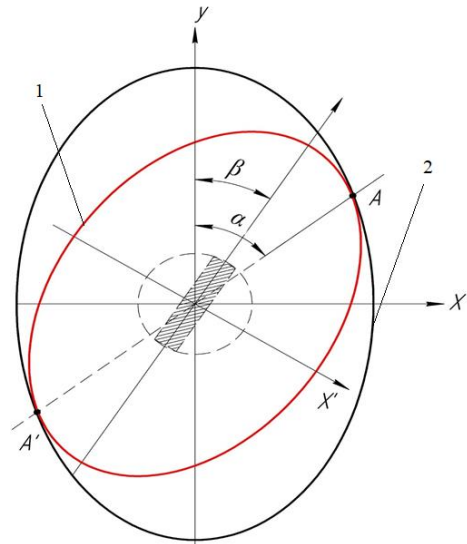


Рис. 8. Епюри: 1 – розтягуючих напружень від НРС в шпурі з пластиною – вставкою в момент тріщиноутворення під заданим кутом α ; 2 – ізолінія міцності

– α - кут між заданим напрямком тріщиноутворення (через точки A і A') і віссю Y шпура;

– β - кут між віссю Y шпура і віссю Y' пластини – вставки, що забезпечує утворення тріщини під кутом α до осі Y шпура.

Співвідношення осей меншого еліпса на рис. 8 дорівнює відношенню розтягуючих напружень $\frac{\sigma_y^2}{\sigma_x^2}$, спрямованих вздовж осей Y та X та діючих на осі X' і осі Y' . Це співвідношення залежить від товщини h пластини – вставки. Співвідношення осей більшого еліпса визначається неоднорідними властивостями породи і розраховується, як відношення мінімальної межі міцності породи на розтягування $[\sigma_p^x]$, що діє на осі шпура X , до межі міцності на розтягнення $[\sigma_p^y]$, що діє на осі Y .

Процес тріщиноутворення в напрямку під кутом α до осі Y проходить наступним чином: на першому етапі розміри меншого еліпсу, який подібний умові міцності (1), зростають під дією розширюваної НРС без взаємного торкання з еліпсом (2). Потім під впливом зростаючого тиску від НРС розміри меншого еліпсу збільшуються до того моменту, коли відбудеться дотик малого і великого еліпсів в точках A і A' , що і визначить початок розколу каменю в напрямку AA' , який пройде під кутом $90^\circ - \alpha$ до осі X (рис. 7).

Рівняння прямої AA' можна записати у вигляді $Y = X \cdot ctg \alpha$. Точка перетину цієї прямої з еліпсом співпадає з точкою дотику внутрішнього еліпсу. Розв'язавши сумісну систему рівнянь (1) і $\sigma_y = ctg \alpha \cdot \sigma_x$, отримаємо координати точки дотику внутрішнього і зовнішнього еліпсів

$$X(\sigma_x) = \pm \frac{[\sigma_p] \cdot [\sigma_c]}{\sqrt{[\sigma_c]^2 + [\sigma_p]^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}}, Y(\sigma_y) = \pm \frac{[\sigma_p] \cdot [\sigma_c]}{\sqrt{[\sigma_c]^2 + [\sigma_p]^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (5)$$

З використанням координати точки дотику еліпсів (5) за допомогою комп'ютерної програми «Компас» визначається такий важливий технологічний параметр, як кут β між віссю пластини-вставки і віссю Y . Велика вісь внутрішнього еліпсу, яка проходить під кутом β до осі Y , буде більшою, ніж пряма OA . Це в свою чергу свідчить про те, що для розколу породи під кутом α до осі Y в шпурі з пластиною - вставкою необхідно створити тиск, більший за $[\sigma_p]$ на 10 ÷ 15 %.

Викладене свідчить про можливість керування напрямком відколу кам'яних блоків як в ізотропних породах, так і в породах різного рівня анізотропії шляхом відповідної орієнтації агрегатів з пластинами-вставками в системі шпурів з НРС.

У третьому розділі розроблено методику проведення експериментів та лабораторне обладнання для випробування силових можливостей НРС, яке використовувалось в промислових умовах.

Проведено лабораторні експерименти на бетонних моделях, які імітували гірську породу, в тому числі і породу з анізотропними властивостями. Особливу увагу було приділено визначенню межі міцності бетонів для виготовлення моделей. Для цього з бетонів з різною концентрацією цементу було виготовлено кубики з стандартним розміром ребер 100мм.

Для гарантії чіткої фіксації тиску руйнування бетону застосовано для експериментальних досліджень спеціальну дослідну гідроустановку, яка реалізована на базі лабораторного гідравлічного пресу з насосом, що розвиває тиск до 100 МПа.

Основним технологічним параметром, який характеризує ефективність використання НРС в гірничій технології, є тиск, який здатна розвивати суміш. Ця характеристика суміші залежить від ряду факторів.

Враховуючи широкий діапазон факторів, які впливають на силові можливості НРС, тобто можливі їх відхилення від паспортних виконано тестування НРС, обраної для експериментальних досліджень.

Експеримент проведено в два етапи, а саме:

1. Провести тарування сталеві труби для визначення залежності зростання зовнішнього діаметру по периметру труби від внутрішнього тиску, отриманого за допомогою плунжерного гідронасосу високого тиску.

2. Заміряючи збільшення зовнішнього радіуса (нормального прогину) труби після протікання реакції кристалізації НРС в трубі, за допомогою тарувального графіку, побудованого під час першого етапу експериментів, можна визначити тиск, отриманий за допомогою НРС.

Досліди з трубою показали, що зона пружних нормальних прогинів труби закінчується після тиску 40...43 МПа, далі починається зона пластичних прогинів.

Практика реалізації гірничих технологій видобутку природного каменю показала методом НРС показала, що тріщиноутворення в шпурах найбільш міцних порід настає при значеннях тиску рівня 35,0 – 38,0 МПа.

Оскільки зафіксовані результати свідчать, що обрана суміш НРС здатна розвивати тиск до 38,0-39,0 МПа в пружному режимі, вона визнана придатною для проведення подальших експериментальних досліджень.

Підкреслимо, що отримані експериментальні дані практично збігаються з теоретичними розрахунками значення тиску в циліндричній оболонці.

Четвертий розділ містить результати експериментальних досліджень ефективності використання пластин –вставок для руйнування підготованих бетонних моделей. На рис. 9 представлено конструкцію пропонованої пластини – вставки для направлено розколу кам'яних блоків та блокування можливого некерованого «вистрілювання» матеріалу НРС з шпура.

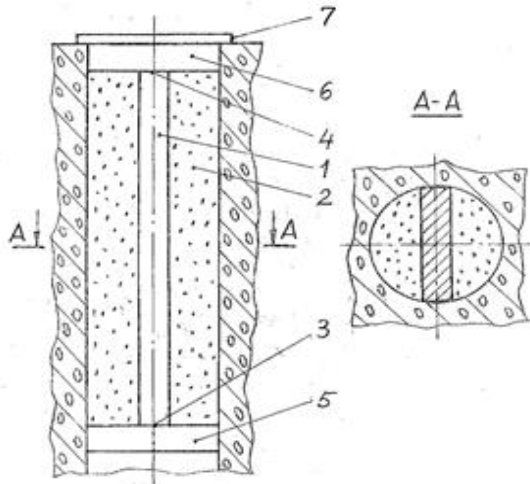


Рис. 9. Конструкція шпурової вставки

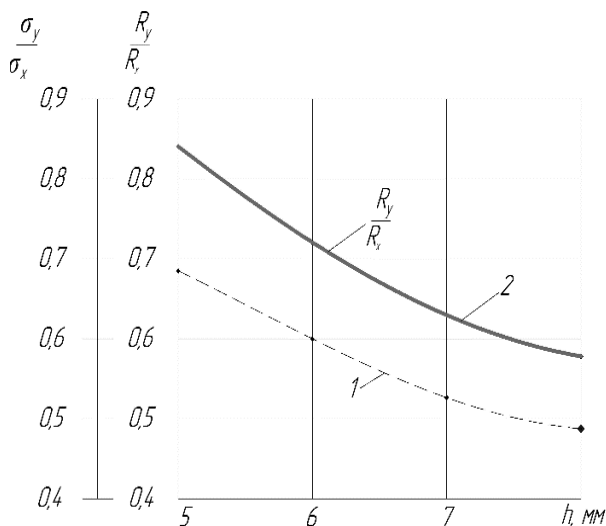


Рис 10. Залежності прогинів труби та максимальних напружень в породному масиві від товщини пластини співвідношення мінімальних та максимальних розтягуючих напружень на стінках шпура в гірських породах (1) та на співвідношення мінімальних та максимальних нормальних прогинів металевої труби (2).

Пристрій включає в себе пластину 1, розташовану вздовж осі шпура 2, який заповнюється НРС. До торців 3 та 4 пластини 1 приварено шайби 5 та 6, діаметр яких обирається за діаметром шпура 2. На шайбі 6 виконано борт 7, який забезпечує фіксацію шпурової вставки у верхній частині шпура 2. Таким чином, пластина-вставка 1 разом з шайбами 5 та 6 утворюють дві замкнуті і рівних за об'ємом порожнини шпура 2.

Напрямок розколу монолітного об'єкту задається поворотом пластини 1 навколо осі шпура 3. За допомогою моделювання в цільнотягнутій сталевій трубі, внутрішній діаметр якої дорівнює поширеному в гірничій практиці діаметру шпура 40мм, визначено потенційну здатність НРС, яка забезпечує тиск $P \leq 40$ МПа. Якісно доведено правильність розробленої в другому розділі теоретичної методики керування напрямом тріщиноутворення з допомогою пластин-вставок.

Остаточне вимірювання нормальних прогинів труби проведено після закінчення хімічної реакції кристалізації НРС.

Отримані експериментальні дані подібні до фактичних процесів, які відбуваються в породі під час керування заданим напрямом тріщиноутворення в шпурах з пластинами – вставками.

Порівняння співвідношень мінімальних та максимальних розтягуючих напружень, що

виникають на осях перетину шпура при різних товщинах пластин-вставок та співвідношення мінімальних та максимальних нормальних прогинів на осях перетину труби при тих же товщинах пластин – вставок (рис. 10) дозволяють зробити висновки: як співвідношення мінімальних та максимальних розтягуючих напружень в породі, так і співвідношення мінімальних та максимальних нормальних прогинів стінок труби мають спільну тенденцію до зменшення при збільшенні товщини пластини-вставки, що дозволяє стверджувати, що початок зародження тріщини відколювання в часі у наперед заданому напрямі настає раніше для пластин більшої товщини. Якісно доведено правильність розробленої в другому розділі теоретичної методики керування напрямом тріщиноутворення з допомогою пластин-вставок.

Лабораторні дослідження проводились на бетонних моделях (ізотропні циліндричні блоки діаметром $D = 310$ мм, висота $H = 410$ мм, радіус шпура $R = 20$ мм. В експериментах використовувались пластини-вставки з товщиною 5...8 мм. Блоки імітували ізотропну гірську породу. Особливості геометрії тріщин розколу при використанні пластин-вставок, продемонстровані на бетонних моделях, залежать від співвідношень мінімальних та максимальних розтягуючих напружень. При мінімальному значенні співвідношення мінімального приросту до максимального (0,57 для пластини товщиною 8 мм) ступінь нерівномірності навантаження в площині перетину шпура в різних напрямках позитивно впливає на «якість» геометрії тріщини-розколу. За критерій «якості» геометрії тріщини розколу обрано половину суми відхилень $\frac{A_1 + A_2}{2}$ кінців тріщини від осі Y , по якій було встановлено пластину-вставку (рис. 11).

На базі проведених лабораторних досліджень отримано залежність «якості» геометрії тріщини розколу від товщини пластини-вставки, яка наведена на рис. 12.

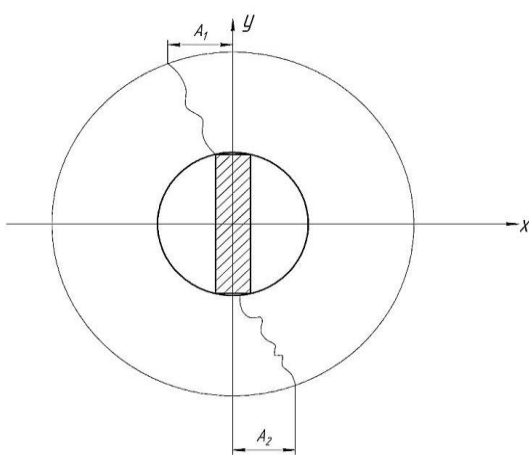


Рис. 11 Схема розвитку тріщини відколу відносно площини пластини (по осі Y)

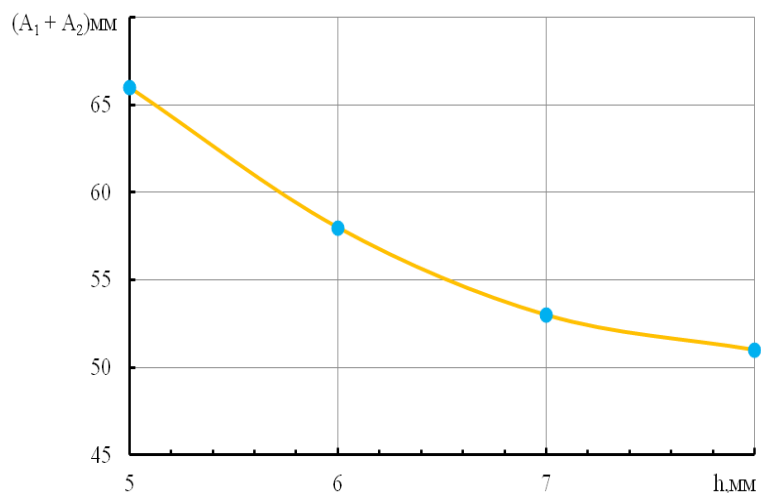


Рис.12. Залежність величини усередненого відхилення тріщини від товщини пластини

Одержана експериментальна залежність характеризує усереднене відхилення напрямку тріщини розколу в залежності від товщини пластини – вставки: 10,6 % при $h = 5$ мм і 8,4 % при $h = 8$ мм.

«Якість» геометрії тріщини розколу не завжди може бути головним технологічним параметром при видобутку кам'яних блоків. При розколюванні негабаритних кусків геометрія тріщини розколу не буде домінуючим фактором. В цьому випадку можливо використати пластини-вставки з мінімальною товщиною (5 мм). Для проведення експериментів в умовах анізотропії розроблено технологію отримання бетонних моделей з неоднорідними властивостями, а саме з двох пар секторів (по 90°) з різними властивостями.

Для цього в форму вставлялись перегородки, що виймалися одразу після заливання бетонного розчину. При цьому в сектори 1 та 3 заливалася суміш з максимальною концентрацією цементу, а в сектори 2 та 4 суміш з меншою концентрацією, конкретна величина якої залежала від заданої наперед неоднорідності (0,6; 0,65; 0,7 та 0,8).

На рис. 13 а, б продемонстровано результати лабораторних експериментів на бетонних моделях.



Рис. 13. Тріщина розколу в заданому вставкою напрямку (а) та некероване тріщиноутворення (б)

Експерименти довели, що при незначній анізотропії практично відсутня можливість керування напрямком тріщиноутворення, тобто відбувається некероване виникнення тріщини розриву по кількох неузгоджених напрямках (рис. 13 б).

В п'ятому розділі викладено результати експериментів, проведених в промислових умовах.

Натурні експерименти та промислові випробування пластин – вставок виконувались на Катеринівському кар'єрі блочного каменю ПП «Кванта-ЛЧ». В першу чергу досліджувалась якість площини розколу блоків. Всі пристрої і моделі, в розробці яких автор дисертації брав участь, базуються на конструванні з допомогою керуючих пластин – вставок штучних пристроїв для керування формуванням поля напружень, які визначають напрямок тріщини відколу. Простота

конструкції обладнання для статичного навантаження шпурів гарантує можливість його самостійного виготовлення в майстерні безпосередньо на кар'єрі.

На рис. 14 представлено теоретичну схему процесу керування напрямом відколу кам'яних блоків з урахуванням наведених міцнісних характеристик каменя а родовищі. На рис. 15 представлено реальну реалізації способу і параметрів керування напрямом тріщиноутворення в промислових умовах Катеринівського кар'єру лабрадориту.

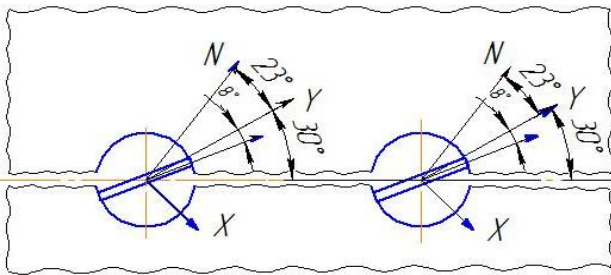


Рис. 14. Схема керування напрямом тріщиноутворення при відколюванні блоку

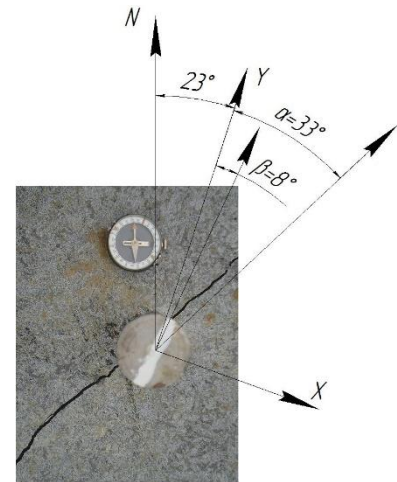


Рис. 15. Результат керування напрямом тріщиноутворення в промислових умовах

В результаті промислових дослідів встановлено:

- збільшення товщини керуючої пластини-вставки підвищує точність керування напрямом тріщиноутворення, але одночасно пластина-вставка з товщиною 8 мм значно зменшує об'єм НРС в шпурі (до 26 %), що негативно впливає на запас енергії суміші, а тому відчутно зменшує можливості розширення тріщини відриву;
- пластина-вставка з мінімальною товщиною 5 мм зменшує точність керування напрямом тріщиноутворення, але в той же час збільшує об'єм НРС в шпурі на 16 %, що позитивно впливає на збільшення ширини тріщини відриву;
- конструктивні особливості пристрою унеможливають викиди (постріли) НРС зі шпурів, що значно покращує умови безпечної праці гірників при використанні НРС;
- пристрій дає можливість при розколюванні блоків використовувати не тільки енергію росту кристалів НРС, а також енергію пари, яка виникає під час реакції НРС з водою;
- застосування агрегату з керуючою пластиною-вставкою забезпечує розкол блоків в заданому напрямку;
- використання пристрою з торцевими обмежувачами дає можливість скоротити час розколу блоків за рахунок ізоляції об'єму НРС в шпурі;
- завдяки керуванню напрямом розвитку відкольної тріщини в міжшпуровому проміжку площини відколу блоків відповідають вимогам відносно якості даної продукції;

– розроблений спосіб надає можливість збільшити відстані між шпурами з пластинами-вставками на 25%. Збільшення відстані між шпурами дає можливість зменшити до 25 % працємїсткїсть бурових робїт.

– результати дисертаційних дослїджень мають практичну цїннїсть для реалїзації енерго - ресурсоощадливого видобування та попереднього оброблення блоків з лабрадориту в умовах Катеринївського кар'єру ПП « Кванта-ЛЧ» з очїкуваним економїчним ефектом вїд впровадження розробленого пристрою 21350 грн. на 1000 м² площини розколу.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково – дослїдною роботою, в якїй на основї комплексу теоретичних та експериментальних дослїджень закономірностей формування поля напружень та розвитку деформаційних процесїв в скельному масивї, руйнованому в статичному режимї зарядом НРС, вирїшено актуальну науково – технїчну задачу вдосконалення технологїї керованого вїдколювання кам'яних блоків вїд скельного масиву рїзного рївня анїзотропїї невибуховими руйнуючими сумїшами шляхом застосування шпурового агрегату з пластиною-вставкою, що керує напрямком розвитку площини вїдриву та забезпечує пїдвищення продуктивностї і технїко-економїчних показникїв методу.

Основнї науковї та практичнї результати проведених дослїджень полягають в наступному:

1 Вперше теоретично дослїджено розподїл напружень навколо шпура з НРС і пластиною - вставкою, що дало змогу визначити технологїчнї параметри керованого розколу скельних порїд з допомогою керуючих пластин – вставок з рацїональної товщини в межах $5 \text{ мм} \leq h \leq 8 \text{ мм}$.

2. Числовим аналізом на основї застосування третьої умови мїцностї встановлено, що завдяки присутностї пластини-вставки в шпурї на її торцях створюються концентратори розтягуючих напружень, якї в ізотропному скельному масивї визначають напрямок розколу породи в площинї шпурїв вздовж пластин-вставок.

3. Теоретично доведено, що величина довїльного вїдхилення трїщини вїдриву на кут « α » вїд площини шпурїв в породному масивї пов'язана залежностями логарифмїчного типу з показником анїзотропїї породи, з товщиною пластини-вставки в шпурї та кутом орієнтації пластини « β » вїдносно бїльшої осї анїзотропїї;

4. Пластини з бїльшою товщиною (до 8 мм), забезпечують бїльшу вїрогїднїсть трїщиноутворення в заданому пластиною напрямку, але при пїдальшому зростаннї цього параметра в шпурї дїаметром 40мм суттєво зменшується тиск вїд розширюваної НРС (до 10 %) що негативно впливає на ширину отриманої трїщини вїдколу.

5. Аналітично доведено, що для розколу анїзотропної породи пїд кутом α до осї анїзотропїї У в шпурї з пластиною – вставкою необхідно створити тиск, бїльший на $10 \div 15 \%$ вїд $[\sigma_p]$ породи.

6. Розроблено уточнену аналітичну формулу для визначення відстані між шпурами з НРС у разі застосування пластин – вставок, яка обґрунтовує можливість збільшення відстані між шпурами на величину до 25 %.

7. Експериментальні дослідження на моделях з цільнотягнутих циліндричних сталевих труб діаметром $D = 40$ мм з використанням пластин – вставок дозволили якісно довести правильність розробленої теоретичної методики керування напрямом тріщиноутворення з допомогою пластин-вставок.

8. Одержано експериментальну залежність «якості» геометрії тріщини розколу від товщини пластини-вставки у вигляді усередненого відхилення кінців тріщини відколювання від площини шпурів, яка зменшується з 10,6 % при $h = 5$ мм до 8,4 % при $h = 8$ мм;

9. Доведено, що запропоновані результати дисертаційних досліджень мають практичну цінність для видобування та попереднього оброблення блоків з лабрадориту в умовах Катеринівського кар'єру ПП «Кванта-ЛЧ» з очікуваним економічним ефектом від впровадження розробленого пристрою 21350 грн. на 1000м^2 площини розколу.

Основні положення і результати дисертації опубліковані у роботах:

Публікації у наукових фахових виданнях:

1. Фоменко І.О. Розробка та дослідження силових можливостей безпечного та енергозберігаючого агрегату для розколу монолітних об'єктів [Текст] / І.О. Фоменко, І.М. Ковтун, О.І. Фоменко, А.І. Ковтун // Проблеми охорони праці в Україні. – Київ, ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці». – 2013. – Вип.26. – С. 44 - 48.

Особистий внесок дисертанта: проведено аналіз способів розколу монолітних блоків за допомогою шпурів, зазначено їх недоліки та переваги.

2. Фоменко І.О. Розробка та дослідження процесу керування напрямом розколу блочного каменю при використанні невибухових руйнуючих сумішей [Текст] / І. О. Фоменко, О. І. Фоменко, І. М. Ковтун, А. І. Ковтун // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2/2013(12). – С. 50 – 57. (включено до баз даних «Україніка наукова», «Ulrich's Web Global Serials Directory», «eLIBRARY», «Index Copernicus», «Polish Scholarly Bibliography», «Infobase Index», «Inspec», «Open Academic Journals Index», «Google Scholar», «CiteFactor» і «Scientific Indexing Services».).

Особистий внесок дисертанта: проведено лабораторні випробування процесу тріщиноутворення при використанні НРС.

3. Фоменко І.О. Дослідження технологічних параметрів процесу керування напрямком розколу блочного каменю під час використання невибухових руйнуючих сумішей [Текст] / І. О. Фоменко, А. І. Ковтун // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Серія «Гірництво» – К. – 2014. – Вип. 26 – С. 63 – 69.

Особистий внесок дисертанта: проведено математичне моделювання технологічних параметрів процесу керування напрямком розколу блочного каменю під час використання невибухових руйнуючих сумішей.

4. Кравець В.Г. Теоретичне визначення технологічних параметрів керованого розколу гірської породи невибуховими руйнуючими сумішами [Текст] / В.Г. Кравець, С.М. Стовпник, А.І. Ковтун, П.З. Луговий // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. КрНУ, 2017. – Вип. 2/2017(20). – С. 15 – 25. (включено до баз даних «Україніка наукова», «Ulrich's Web Global Serials Directory», «eLIBRARY», «Index Copernicus», «Polish Scholarly Bibliography», «Infobase Index», «Inspec», «Open Academic Journals Index», «Google Scholar», «CiteFactor» і «Scientific Indexing Services»).

Особистий внесок дисертанта: визначено технологічні параметри процесу керування напрямком розколу блочного каменю під час використання невибухових руйнуючих сумішей.

5. Стовпник С.М. Формування тріщини відриву при видобутку блокового каменю [Текст] / С.М. Стовпник, А.І. Ковтун, Н.Ф. Качинська, О.С. Прит // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2017. – № 2/(80). – С. 200 – 206. (включено до баз даних «WorldCat», «BASE», «eLibrary», «Google Scholar»).

Особистий внесок дисертанта: розроблений спосіб управління напрямком тріщини відриву в секторі між осями анізотропії.

Патенти на корисну модель:

6. Патент 90941 на корисну модель, Україна МПК E21C 37/00. Шпурова вставка для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами / І. О. Фоменко, О. І. Фоменко, А.І. Ковтун ; заявл. 06.02.2014; опублік. 10.06.2014. Бюл. №11.

Особистий внесок дисертанта: створено корисну модель шпурової вставки для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами.

7. Патент 92446 на корисну модель, Україна МПК E21C 27/14. Шпурова вставка для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами / І. О. Фоменко, О. І. Фоменко, А.І. Ковтун ; заявл. 16.04.2014; опублік. 11.08.2014. Бюл. №15.

Особистий внесок дисертанта: створено корисну модель шпурової вставки для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами.

8. Патент 106912 на корисну модель, Україна МПК E21C 37/00. Шпурова вставка для направлено розкол монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами / А.І. Ковтун ; заявл. 19.11.2015; опублік. 10.05.2016. Бюл. №9.

Особистий внесок дисертанта: створено корисну модель шпурової вставки для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами.

Публікації за матеріалами конференції:

9. Фоменко І.О. Аналіз технологічних особливостей керування напрямом тріщиноутворення в шпурах гранітних блоків при використанні невибухових руйнуючих сумішей [Текст] / Фоменко І.О., Ковтун А.І. // Сталий розвиток промисловості та суспільства: (г. Кривий Ріг 2014): матеріали міжнародної науково-технічної конференції . ДВНЗ Криворізький національний університет.– С. 7 – 8.

Особистий внесок дисертанта: проведено аналіз технологічних особливостей керування напрямом тріщиноутворення в шпурах при видобутку природного каменю, постановка проблем, написання тез.

10. Ковтун А.І. Підвищення екологічної безпеки на кар'єрах Житомирської області [Текст] / А.І. Ковтун // Ресурсозбереження і екологічна безпека технологічних процесів промислового і цивільного будівництва : Тези доповідей VII Міжнародної науково – технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина», 15 – 17 травня 2015 р., Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – С. 37 – 39.

11. Ковтун А.І. Підвищення безпеки використання невибухових руйнуючих сумішей (НРС) при видобутку штучного та декоративного каменю на кар'єрах [Текст]/ А.І. Ковтун // Проблеми охорони праці та цивільної: Збірник матеріалів 13-ї всеукраїнської науково-методичної конференції. 10-12 листопада 2015 р., Київ : НТУУ «КПІ», 2015.– С. 171 – 175 .

Публікації в інших виданнях:

12. Фоменко І.О. Керування напрямом тріщиноутворення по осях ортотропії гранітів при використанні невибухових руйнуючих сумішей та агрегатів з пластинами-вставками [Текст] / І. О. Фоменко, О. І. Фоменко, І. М. Ковтун, А. І. Ковтун // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.– Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2(16). – С. 41 – 48. (включено до баз даних «Україніка наукова», «Ulrich's Web Global Serials Directory», «eLIBRARY», «Index Copernicus», «Polish Scholarly Bibliography», «Infobase Index», «Inspeс», «Open Academic Journals Index», «Google Scholar», «CiteFactor» і «Scientific Indexing Services».).

Особистий внесок дисертанта: досліджено можливості керування тріщиноутворенням по осях неоднорідності природного каменю.

13. Кравець В.Г. Удосконалення технології для безпечного розколу гранітних блоків при використанні невибухових руйнуючих сумішей [Текст] / В.Г. Кравець, Н.А. Праховнік, А.І. Ковтун // Проблеми охорони праці в Україні. – Київ, ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці». – 2016.– Вип. 32. – С. 111 – 117.

Особистий внесок дисертанта: розроблено конструкції агрегату для направленоного відколу блоків.

АНОТАЦІЯ

Ковтун А.І. Удосконалення технології керованого розколу кам'яних блоків невибуховими руйнуючими сумішами. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Київ, 2018.

Дисертацію присвячено розробці наукових основ та обґрунтуванню вдосконаленого методу видобування кам'яних блоків із застосуванням НРС і керуючих пластин – вставок. В рамках плоскої задачі теорії пружності з використанням третьої умови міцності досліджено процес зародження відривної

тріщини вздовж системи шпурів шляхом прикладання статичних навантажень в присутності керуючої металевої пластини заданої товщини і одержано аналітичні формули для розрахунку технологічних параметрів – мінімально потрібного тиску в шпурі та відстані між шпурами в залежності від їх радіуса, товщини пластини – вставки і властивостей гірської породи. Детально досліджено процеси зростання в часі розтягуючих напружень σ_x і σ_y по осях анізотропії скельного масиву в процесі кристалізації НРС. Розроблено принципи та метод керування зародженням та напрямком утворення тріщини відриву в секторі між осями анізотропії руйнованого блоку. Експериментально досліджено працездатність НРС і якісно підтверджено механізм керування полем напружень шляхом відповідної орієнтації пластин – вставок для відколу кам'яних блоків. Розроблене обладнання для відколу кам'яних блоків гарантує його надійність та тривалість роботи в промислових умовах. Впровадження пропонованої системи керованого відколювання блоків природного каменю на Катеринівському родовищі лабрадориту підтвердило переваги розробленої технології яка надає можливість прогнозованого створення параметрів статичного навантаження при екологічно безпечному процесі.

Ключові слова: кам'яний блок, шпур, пластина – вставка, навантаження, напружений стан, тріщиноутворення, НРС.

АННОТАЦИЯ

Ковтун А.И. Усовершенствование технологии управляемого раскола каменных блоков невзрывными разрушающими смесями. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.03 – открытая разработка месторождений полезных ископаемых. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», МОН Украины, Киев, 2018.

Диссертация посвящена обоснованию и совершенствованию технологических параметров метода добычи каменных блоков с помощью НРС и пластин – вставок. Традиционный метод отделения блочного камня, основанный на применении невзрывчатых расширяющихся смесей, в работе претерпевает усовершенствование, связанное с разработкой метода управляемого формирования трещины отрыва монолита декоративного камня, в том числе с учетом явления анизотропии.

Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния скального массива при расширении НРС в шпуре в присутствии управляющей пластины – вставки применительно к изотропной среде позволили установить связь прочностных и технологических характеристик системы «горная порода – шпуровой заряд НРС – управляющая пластина». В качестве объекта исследований послужили наиболее распространенные на предприятиях декоративного камня породы – кварцевый порфир, диабаз, розовый гранит, порфирит, мрамор. Для плоской задачи теории упругости с использованием третьего условия прочности исследован процесс зарождения трещины по строчке шпуров при статических нагрузках и получены аналитические формулы для расчета технологических параметров – давления и расстояния между шпурами в зависимости от их радиуса, толщины управляющей пластины – вставки в диапазоне 5...30мм и свойств горной

породы. В результате математического моделирования установлены рациональная толщина управляющей вставки. Исследования в достаточно широком спектре механических характеристик пород свидетельствуют, что на формирование вывода о рациональной толщине пластины – вставки тип породы не влияет, т.е. для изученных пород рациональная толщина вставки составляет 5...8мм. Меньшая толщина пластины приводит к ее неустойчивой работе, превышающая 8мм толщина вставки – к критическому уменьшению объема рабочего агента – невзрывчатой расширяющейся смеси, необходимого для развития заданного давления внутри шпура. Особое внимание уделено исследованию процессов развития во времени растягивающих напряжений σ_x и σ_y соответственно осям анизотропии скальной породы в течение кристаллизации НРС. Разработан метод управления направлением трещинообразования в секторе между двумя главными осями анизотропии, учитывающий возможность корректировки положения пластины – вставки в шпуре относительно заданной системой шпуров плоскости откола монолита. Приведены соответствующие зависимости логарифмического типа, связывающие ориентацию плоскости системы шпуров и направление управляющей пластины в шпуре относительно осей анизотропии с учетом толщин пластины. Проведенные экспериментальные исследования дали возможность исследовать работоспособность выбранной марки НРС, предсказанный характер деформирования металлической трубы, заполненной невзрывчатой расширяющейся смесью и содержащей агрегат с пластиной – вставкой. Модельные эксперименты, имитирующие процесс направленного формирования поля напряжений и соответствующих деформаций, подтвердили получение ожидаемого механического эффекта при использовании пластин – вставок для откола каменных блоков. Защищенное авторскими свидетельствами оборудование для откола каменных блоков гарантирует его надежность и долговечность работы в среде. Оно обладает энергосберегающими характеристиками для образования статических нагрузок НРС в шпурах, а также способностью гарантировать экологическую чистоту технологического процесса. Минимальные габариты и масса применяемого агрегата, которые гарантируют ручное транспортирование оборудования по карьеру, исключают использование подъёмно-транспортных машин, имеющих электропривод, или привод от двигателей внутреннего сгорания. Использование разработанных агрегатов позволило создать с меньшими энергозатратами направленную линию откола монолита и избежать излишнего разрушения ценного декоративного сырья в прилегающих к зоне плоскости откола слоях породы. Внедрение разработанной системы управления отколом блоков природного декоративного камня реализовано на Катериновском месторождении лабрадорита Володарск – Волынского р-на Житомирской области. Эти работы подтвердили преимущества разработанной технологии над другими технологиями в том, что представляется возможность прогнозированного обеспечения параметров статического нагружения и соответствующего направления плоскости раскола, особенно в применении к скальным массивам, обладающим свойствами анизотропии, при экологически безопасном процессе.

Ключевые слова: каменный блок, шпур, пластина – вставка, нагрузка, напряженное состояние, трещинообразование, НРС.

ABSTRACT

Kovtun A.I. Improvement of controlled split of stone blocks technology by using nonexplosive destructive mixtures. – A manuscript.

Thesis for degree of candidate of engineering science in specialty 05.15.03 – open mining of mineral products. – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute», MES of Ukraine, Kyiv, 2018.

The thesis is devoted to development of scientific basis and grounding of improved method of stone block extraction with using of NDM and controlling plates named embeddings.

The process of detachable split along system of drill holes was investigated in limits of plate problem of elasticity theory with using third strength condition by application of static loads in presence of driving plate with predetermined thickness. It was fined the analytical equation for calculations of technological parameters such as minimal required pressure in drill hole and distance between drill holes as functions of their radius, plate-embedding thickness and properties of geological material. The processes of time depending growth of pulling stresses σ_x and σ_y in axial direction of rock massif anisotropy in crystallization processes of NDM was investigated in details. The principles and method of control of generation and formation direction of disengagement split in sector between anisotropy axis of breaking block. The capacity to work of NDM was experimentally investigated and mechanism of strength field control by corresponding orientation of plates-embendings for stone blocks split-off was qualitatively proved. The equipment designed for stone blocks split-off guarantee its reliability and duration of work in industrial conditions. Implementation of proposed system of controlled stone blocks split-off in Katerinian deposit of labrodarite was proved of benefits of designed technology which allows possibility of predictable creation of parameters of static load during environmentally safe process.

Key words: stone block, drill hole, plate-embedding, load, stress condition, split creation, NDM.

Ковтун Андрій Іванович

**Удосконалення технології керованого розколу кам'яних блоків невибуховими
руйнуючими сумішами**

05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

(Автореферат)