

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

Пасько Микола Володимирович

УДК 622.231

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНТУРНОГО ПІДРИВАННЯ СКЕЛЬНИХ
ПОРІД ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРУ**

Спеціальність 184 Гірництво

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
магістра технічних наук

Київ – 2018

Роботу виконано у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» на кафедрі геоінженерії.

Науковий керівник:

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

Захист відбудеться «21» травня 2018 р. о 14 годині на засіданні ДЕК кафедри геоінженерії в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 511.

Автореферат виставлен на сайті “_20_” квітня 2018 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Актуальною проблемою при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом є проблема стійкості укосів бортів кар'єрів. Особливої гостроти вона набула останнім часом, коли глибина відпрацювання кар'єрів різко зросла. При цьому досвід, накопичений при відпрацюванні неглибоких кар'єрів, уже не задовольняє новим вимогам.

Особливе занепокоєння викликають зсуви в скельних породах, які тривалий час вважалися досить стійкими. Зокрема, це незначні обвалення в укосах уступів, складених тріщинуватими скельними породами, які істотно ускладнюють ведення гірничих робіт через зменшення ширини транспортних берм і берм безпеки.

При формуванні постійних бортів кар'єрів, які розробляють скельні породи, застосування буропідривних робіт із використанням звичайних способів підривання викликає значні порушення законтурного масиву. Це приводить до виположування укосів у порівнянні із проектом і вимагає додаткових витрат на штучне зміцнення укосів уступів або рознесення бортів з метою відновлення транспортних берм на граничному контурі кар'єру. Практика довела, що найбільш технологічним і ефективним способом завідкоски скельних уступів і забезпечення стійкості масиву є контурне підривання.

На даний час досягнуто значного прогресу в області застосування контурного підривання на відкритих роботах. Однак не вирішений ряд ключових питань, пов'язаних з вибором раціональних параметрів контурного підривання, прогнозуною оцінкою і вибором методів підвищення ефективності спеціальної технології завідкоски уступів. Одним з найбільш істотних недоліків є те, що вимоги стійкості не враховується при виборі параметрів буропідривних робіт (БПР). Вплив спеціальних методів ведення БПР на стійкість відкосів уступів лише констатується після виконання робіт.

Розробка методів керування процесом руйнування порід при контурному підриванні і визначення раціональних параметрів контурного підривання, що дозволяють одержувати стійкі круті укоси уступів є **актуальною науково-практичною задачею.**

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі геоінженерії 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.

Метою дисертаційної роботи є вдосконалення параметрів контурного підривання через використання розробленої технології та комп'ютерного моделювання.

Вказана мета досягається вирішенням наступних **задач:**

- встановлення закономірностей керування процесом руйнування порід при контурному підриванні;

- визначення динамічних властивостей гірських порід та основних гідродинамічних параметрів детонаційних хвиль і продуктів детонації;

- моделювання процесів взаємодії зарядів в гірському масиві.

Об'єкт дослідження – процеси та технологічні параметри контурного підривання в скельних породах.

Предмет дослідження - закономірності формування оптимальних за стійкістю відкосів уступів в процесі підривання

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач у роботі використовувались сучасні методи наукових досліджень аналізу – для узагальнення сучасних досягнень із застосування контурного підривання на відкритих роботах; експериментальних досліджень в натурних умовах – для визначення закономірностей формування екрануючої щілини і зони порушень під діям вибухів оконтурюючих зарядів; геоматематичної статистики – для обробки експериментальних даних та встановлення динамічних і статичних характеристик; математичного моделювання – для встановлення оптимальних відстаней між свердловинами за умовами енергонасиченості масиву і необхідного ступеня дроблення;

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

- встановлені особливості процесу формування екрануючої щілини. Зокрема, ширина зони подрібнення по лінії свердловинних зарядів в процесі формування екрануючої щілини залежить від блочності масиву: при крупноблочній будові масиву вона є витриманою по довжині і значною за розмірами; при мілкоблочній будові масиву – нерівна по довжині і незначна за розмірами;

- пропонується спосіб формування постійних бортів кар'єру шляхом застосування методу попереднього щілеутворення із формуванням спеціальних конструкцій свердловинних зарядів, а саме виконувати зменшені заряди промислових вибухових речовин, що розосереджені повітряним проміжком.

Практична цінність результатів роботи полягає в:

- отримані динамічних і статичних характеристик залізистих кварцитів для моделювання;

- отримані моделі які дозволяють розглянути процес руйнування гірської породи в процесі взаємодії зарядів в умовах ДНРУ ВАТ „Полтавського ГЗК, що дає можливість визначити оптимальні відстані між ними за умовами енергонасиченості масиву і необхідного ступеня дроблення;

Результати дисертаційних досліджень прийняті для впровадження на кар'єрі Горішнеплавнінського та Лавриківського родовищ ДНРУ ВАТ «Полтавський ГЗК», що підтверджується відповідними актами.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та окремі результати роботи доповідались та обговорювались на: всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів» (Житомир 2016); Пасько М.В., Чала О.М. К питанню визначення динамічних властивостей залізистих кварцитів і вибухової речовини Міжнародна науково-технічна конференція «проблеми геоінженерії та підземної урбаністики» Київ 2018; та на наукових семінарах кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «КПІ імені Ігоря Сікорського».

Публікації. Пасько М.В., Косенко Т.В. Технологія формування постійних бортів кар'єру Горишне-Плавнинського родовища залізистих кварцитів Тези ІІІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів» Житомир 2016

Пасько М.В. Зуєвська Н.В. Визначення динамічних властивостей залізистих кварцитів і вибухової речовини для комп'ютерного моделювання Дев'ята всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених “наукова весна” Дніпро 2018

Пасько М.В., Чала О.М., Тарасюк О.С. Зуєвська Н.В. Моделювання процесу вибухового руйнування залізистих кварцитів. Вісті Донецького гірничого інституту : всеукр. наук.-техн. журн. гірн. профілю / Донец. нац. техн. ун-т. – Покровськ 2018

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку використаних літературних джерел, який містить 79 найменувань. Основний текст викладено на 86 сторінках друкованого тексту, містить 13 рисунків, 9 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми роботи і необхідність проведення досліджень, сформульовані мета і задачі досліджень, визначена наукова новизна та практичне значення одержаних результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз стану питання щодо формування постійних бортів кар'єру при розробці скельних порід. В роботах Летучого В.В., Зеркаля О.В., Егорова А.Я. Голуба В.В, встановлено, що основними причинами зсувів на кар'єрах є: несприятливі структурно-літологічні умови, а саме: тектонічні порушення, зміна кута падіння шарів масиву порід, наявність прошарків глини та інших ослаблених зон, що падають у бік виробки; зміна фізичних властивостей порід, насамперед, втрата міцності через зволоження атмосферними та підземними водами, і зменшення міцності порід у часі; техногенні фактори: динамічний вплив гірничотранспортного устаткування, масових вибухів і землетрусів на масив гірських порід.

В роботах В. М. Мосинця, А. Б. Фадєєва, А. М. Гайдіна, М. Е. Певзнера і Б. В. Смирнова відзначається, що значний вплив на стійкість бортів чинять буропідривні роботи (БПР). Вони викликають небезпеку обвалення уступів у кінцевому положенні борту кар'єру невеликої глибини. Для зниження шкідливого впливу БПР вчені рекомендують змінити їх параметри, а саме: розташовувати ряди свердловин під кутом $60...90^\circ$ до контуру борту; застосовувати екрануючі вруби; використовувати штучне зміцнення уступів; вводити в розрахунки підвищений коефіцієнт запасу стійкості, а за наявності необхідної інформації вводити в розрахунки також параметри міцності порід у масиві, отримані методом обернених розрахунків на ділянках розвитку деформацій. Ці параметри в конкретних гірничотехнічних і інженерно-геологічних умовах ураховують масштабний фактор, що включає і вплив БПР.

Застосування контурного підривання дозволяє збільшити кути укосів у порівнянні із завідкоскою звичайними вибухами на $5-15^\circ$ і забезпечити їхню тривалу стійкість при проектних (гранично стійких) кутах укосів. Основним завданням, розв'язуваним при використанні контурного підривання на кар'єрах, є забезпечення тривалої стійкості уступів у відповідності до проектного значення кута укосу, що вимагає обмежити розміри зони порушення міжблочних зв'язків.

Механізм формування екрануючої щілини на даний час вивчений недостатньо. Однак наявні відомості робіт Мосинця В.Н., Боровікова В.А. дозволяють дати якісну характеристику формування щілини. При взаємодії сусідніх зарядів між ними проростає одна або кілька тріщин, розпираючих під впливом тиску продуктів детонації. Кількість тріщин, що проростають між зарядами, залежить від тріщинуватості масиву, властивості порід, швидкості підведення енергії. На практиці по лінії контуру зазвичай розвивається мережа тріщин. Розкриття щілини відбувається за рахунок ущільнення порожнеч у прилягаючій частині масиву.

Аналіз досліджень на вибір параметрів оконтурюючих зарядів для створення екрануючої щілини, виявив відсутність методики, що дозволяє досить обґрунтовано й однозначно рекомендувати параметри БПР для конкретних гірничо-геологічних умов. Відомі на даний момент залежності дозволяють лише орієнтовно оцінити співвідношення між основними параметрами оконтурюючих зарядів але не дають

відповідь на питання, - які саме параметри вважати раціональними; не дозволяють навіть орієнтовно порахувати захисну здатність створюваного екрана й оцінити технічну ефективність запланованих заходів щодо зниження ширини зони порушень. Тому на практиці широко розповсюджений метод аналогій. Доведення параметрів оконтурюючих зарядів зазвичай здійснюється за рахунок зміни відстані між свердловинами і лінійної маси зарядів. Вибір діаметра свердловини зазвичай робиться довільно залежно від наявного парку бурових станків.

Отже, базуючись на висновках сучасних наукових досліджень, розглянутих в роботі, можна зробити висновок, що у зв'язку з відсутністю теоретичних залежностей для розрахунку гранично допустимих, за умовою збереження стійкості укосів, навантажень на законтурний масив, відпрацьовування параметрів БПР потрібно виконувати для кожної ділянки масиву, що відрізняється будовам, або фізико-механічними властивостями порід.

У другому розділі наведено теоретичне обґрунтування розрахунку оконтурюючих зарядів. Стійкість відкосу у скельних породах визначається фізико-механічними властивостями порід, протяжністю і орієнтацією тріщин відносно відкосу, а також зчепленням, кутом внутрішнього тертя по контакту, нерівністю (шороховатістю) поверхні тріщин і властивостями заповнювача.

В результаті порушення при вибуху відбувається втрата міцності законтурного масиву. Це проявляється у зміні тріщинуватості, з'явленню залишкових деформацій, зниженню міцностних характеристик по контактам структурних блоків.

Найбільш об'єктивною характеристикою зниження стійкості привідкосної частини уступу є змінення міцностних характеристик по контакту тріщин. Однак складність визначення цих характеристик у природніх умовах не дозволяють використовувати їх в якості критерію при оцінці стійкості відкосів. Кількісну оцінку ефекту від застосування методу попереднього щілеутворення пропонується виконувати за допомогою коефіцієнта ефективності застосування контурного підривання, що показує у скільки разів зменшилась ширина зони залишкових деформацій завдяки контурному підриванню (рис.1)

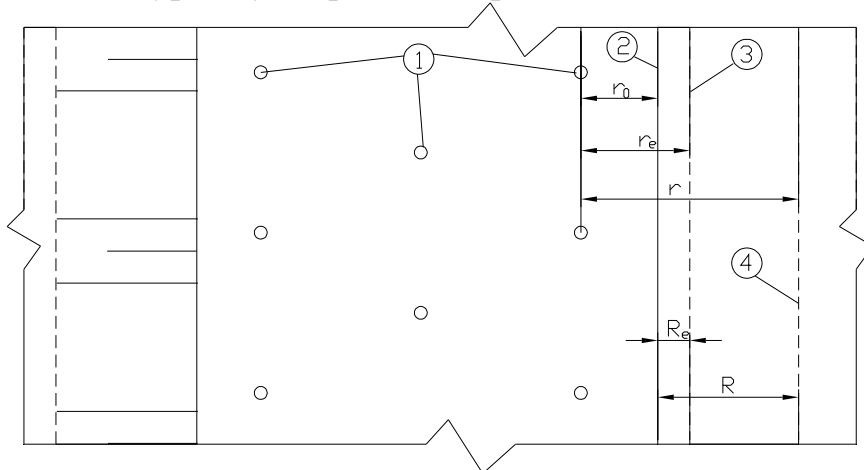


Рис.1 Схема до розрахунку коефіцієнта ефективності проведення контурного підривання: 1 – заряди подрібнення в приконтурній зоні; 2 – проектний контур (екрануюча щілина); 3 – межа зони залишкових деформацій при наявності екрануючої щілини; 4 – границя зони залишкових деформацій при вибуху без екрану.

$$K_e = \frac{R}{R_e} \frac{r}{r_e} \frac{r_0}{r_0}, \quad (1)$$

де K_e – коефіцієнт ефективності використання контурного підривання; R й R_e – ширина зони небезпечних деформацій за проектною границею відриву, відповідно при відсутності й при наявності екрана, м; r і r_e – відстань від заряду ВР до границі зони небезпечних порушень, відповідно без екрана й при його наявності, м; r_0 – відстань від заряду ВР до екрана, м.

При короткосповільненому підриванні в приконтурній зоні частота коливань обернено пропорційна часу сповільнення. Значення t визначається експериментально. Для орієнтовних розрахунків можна вважати t рівним часу підтримки тиску в підривній порожнині, що при підриванні уступів висотою 10-20 м становить 8-15 мс.

Активний вплив на захисну здатність екрана можливий шляхом керування шириною екрануючої щілини, тривалістю імпульсу навантаження при вибуху в приконтурній зоні. Технологічна схема повинна передбачати неприпустимість заповнення екрануючої щілини водою, тому що в цьому випадку захисна здатність екрана різко знижується (ρ_e і V_e – зростають).

Параметри оконтурюючих зарядів повинні задовольняти умові обмеження ширини зони порушення і забезпечувати створення екрануючої щілини з можливо великою захисною здатністю.

Параметри підривання в приконтурній зоні повинні вибиратися з урахуванням припустимої ширини зони порушень і екрануючої здатності щілини.

При проходженні по ВР детонаційної хвилі утворюються газоподібні продукти детонації (ПД), тиск яких досягається в початковий період кількох сотень тисяч атмосфер.

Швидке розширення ПД приводить до стрибкоподібної зміни тиску і щільності в навколишнім середовищі - генерується ударна хвиля. При оптимальних параметрах контурних зарядів тиск у фронті хвилі на стінках свердловин істотно знижується і ударна хвиля швидко (на малих відстанях) трансформується у хвилю напружень, що підтверджується повною відсутністю зони зминання на збережених слідах контурних свердловин. Підсумовування напружень від сусідніх зарядів визначає напрямок максимального руйнування масиву по лінії зарядів. По мірі віддалення від площини розташування зарядів, сумарні значення напружень від вибуху сусідніх зарядів знижується. На деякій відстані значення розтягуючих напружень стає рівним динамічній міцності породи на вибух. Ця умова визначає найбільше відхилення границі зони дроблення окремоостей від площини розташування зарядів для будь-якої її точки.

Реальний масив зазвичай розсічений декількома системами тріщин і, крім того, має ряд хаотично орієнтованих тріщин, що значною мірою ускладнює механізм утворень екрануючого шару із подрібненої породи.

Враховуючи високу швидкість росту тріщин у породі, згідно для різних типів порід швидкість росту тріщин змінюється від 200 до 1800 м/с і відносно невелику відстань між оконтурюючими зарядами (до 3,0 м), можна оцінити час, необхідний для утворення суцільної тріщини по лінії зарядів. Навіть за припущенням, що тріщини розвиваються тільки від свердловин, час, необхідний для зростання тріщин і

утворення суцільної щілини складе мілісекунди, що майже на порядок менше часу підтримки продуктів детонації ВР у підривній порожнині. Настільки значна різниця дозволяє вважати, що дроблення породи по лінії свердловин відбувається при впливі розтягуючих напружень, викликаних квазистатичним тиском продуктів детонації, рівним середньому тиску в свердловині в початковий момент навантаження.

По мірі розкриття щілини тиск знижується і у деякий момент урівноважується реакцією масиву. Розкриття щілини в цей момент досягає свого найбільшого значення. Подальше зниження тисків приводить до часткового схлопування щілини за рахунок пружного відновлення форми деформованих окремоостей і часткового розкриття міжблочних тріщин. Повному схлопуванню екрануючої щілини, можливо, перешкоджає наявність у ній твердого заповнювача із дробленої породи. Незалежно від ширини зони подрібнення і розкриття щілини, порожнина заповнювача становить 25-35%.

Верхня частина уступу на кар'єрах зазвичай сильно порушена і є потенційно нестійкою. Потужність цієї зони залежить від будови масиву, міцнісних характеристик породи і контактів міжблочних тріщин, а також від прийнятої технології ведення підривних робіт. Потужність сильно порушеної зони з достатньою точністю визначається візуально. Проведення заходів щодо захисту законтурного масиву в межах цієї зони, мабуть, не має сенсу. Так, при спробі створення екрануючої щілини по всій висоті уступу, у межах сильно порушеної зони відбулося утворення воронки викиду в приконтурній зоні і спостерігалася повна втрата стійкості законтурної частини масиву, викликана зсувними деформаціями по сланцюватості. При обробці приконтурної зони відбулося мимовільне обвалення частини уступу при збереженні загальної його стійкості. Спостереження на інших ділянках, де повністю були відсутні тріщини, що підсікають уступ, після обробки приконтурної зони, показали, що в межах верхньої, сильно порушеної зони, кут укусу уступу визначається природним кутом укусу роздробленої породи.

Принципова відмінна дія вибуху оконтурюючих зарядів у межах сильно порушеної зони (утворення воронки викиду, дроблення породи) від дії в непорушеному масиві не дозволяє поширити вищевикладені подання про механізм утворення екрануючої щілини на цю зону. А отже, при розрахунку параметрів оконтурюючих зарядів і оцінці результатів підривання враховувати цю зону не треба.

У третьому розділі представлено технологію формування постійних бортів кар'єру в умовах ВАТ «Полтавський ГЗК». Для представлення технології проведено інженерно-геологічну і гідрогеологічну характеристику родовища ДнРУ ВАТ „Полтавський ГЗК”. На даний час гірничі роботи на кар'єрі Дніпровського РУ виконуються по проекту ВАТ "Укргіпроруда" "Відпрацьовування Горишне-Плавнинського родовища Полтавського ГЗКа" (проект 2004 року). Проектом передбачається відпрацьовування родовища до глибини 420 м (гор.-350 м.) у південній частині і 230 м (гор.-162 м) у середній частині з кутами погашення бортів 35°.

Формування бортів кар'єру в кінцевих контурах описано в попередніх проектах інституту Укргіпроруда. Для запобігання порушень прибортового простору проектом передбачається застосовувати технологію відпрацьовування приконтурних зон на базі використання контурного підривання похилими свердловинами.

На підставі розрахунків, виконаних науково - дослідницьким інститутом ВІОГЕМ у звіті про науково-дослідну роботу «Визначення фізико-механічних властивостей порід, вивчення структурно-тектонічних особливостей масиву порід, розробка рекомендацій з параметрів уступів бортів Полтавського ГЗКа на граничних і тимчасово - неробочих контурах на Горишне-Плавнинському родовищі» стійкі кути укосів на різних ділянках Західного і Східного бортів становлять $35 - 50^\circ$ й $50 - 60^\circ$ відповідно. Одержання бортів з такими кутами нахилу дозволить збільшити глибину відпрацьовування родовища без розносу верхніх контурів кар'єру.

Однак, як показала практика, у складних гідрогеологічних умовах родовища «Полтавського ГЗКа», значна частина похилих свердловин обвалюється, що унеможлиблює виконання прийнятих проектних рішень по формуванню постійних бортів кар'єру.

На даний час кути укосів робочих уступів у кар'єрі становлять 45° , неробочих здвоєних, строєних і т.д. – $35-40^\circ$ (рис. 3).

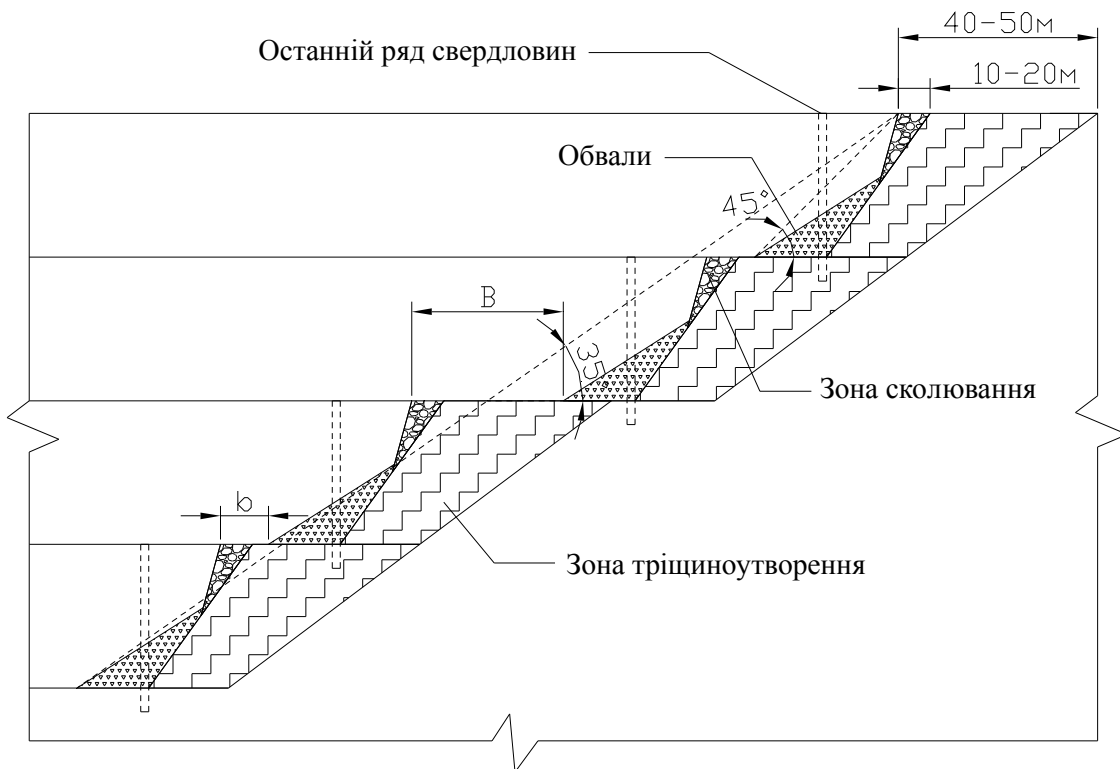


Рис. 3. Стан неробочого борта кар'єра, порушеного вибухами

У відповідності з сформованою на кар'єрі ДНРУ ВАТ «Полтавський ГЗК» системою розробки, гірничі роботи ведуться з вибірковою консервацією й розконсервацією ділянок бортів кар'єру. Найбільша ефективність такої системи розробки досягається при максимальних кутах консервації бортів на тимчасово неробочих ділянках. З іншого боку, величина кутів нахилу бортів обмежується стійкістю бортів і уступів, що складають. Стійкість укосів бортів і уступів кар'єра оцінюється коефіцієнтом стійкості. Нормами технологічного проектування регламентується мінімальна величина коефіцієнта запасу стійкості прибортових гірських масивів:

для неробочих уступів $K_{zc} = 2,0$;

для неробочих бортів кар'єрів $K_{zc} = 1,3$.

Основними видами деформацій на кар'єрі «Полтавського ГЗКа» є зсуви в піщано-глинистих відкладеннях й обвалення в скельних породах.

На підставі гірничо-геометричного аналізу родовища, пропонується обрати 2 способи формування укосів уступів у кінцевих і тимчасово неробочих контурах. Один зі способів полягає в створенні укосу уступу під кутом нахилу поверхонь ослаблення (шаруватості і тріщин). Цим способом передбачається формувати Південний борт кар'єру, складений шаруватими породами з кутами нахилу убік кар'єру під кутом 40 - 50°.

Другий спосіб полягає у формуванні вертикальних укосів уступу. Цим способом планується формувати всі інші ділянки постійних і тимчасово-неробочих ботів кар'єру.

Характерною рисою структури родовища є витриманість елементів залягання на окремих ділянках родовища, де сітка тріщинуватості проста і має певне орієнтування. Всі породи розчленовані системами нормально січних тріщин (рис 4.):

- поздовжніми (розшарування) М;
- поперечними (сколювання) N;
- діагональними (сколювання й відриву) С и К.

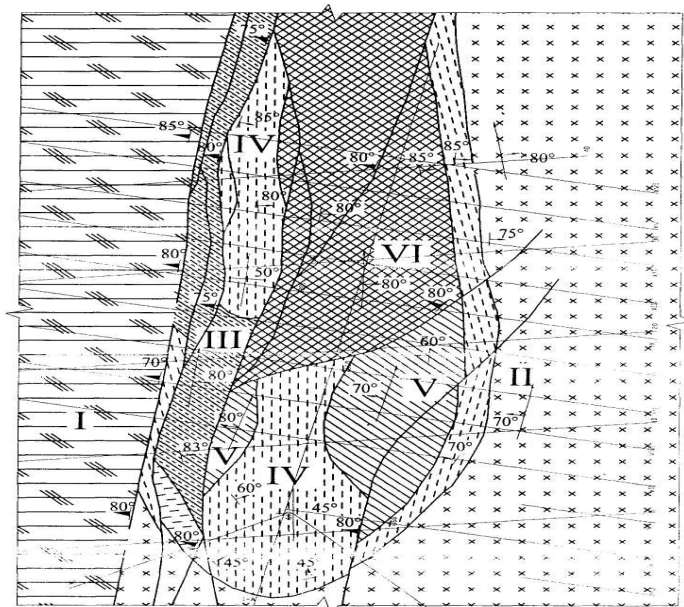


Рис. 4. План геоструктурного районування і блокування по тріщинуватості Горишне-Плавнинського родовища гор.-120 м: I-VI - структурні блоки тріщинуватості

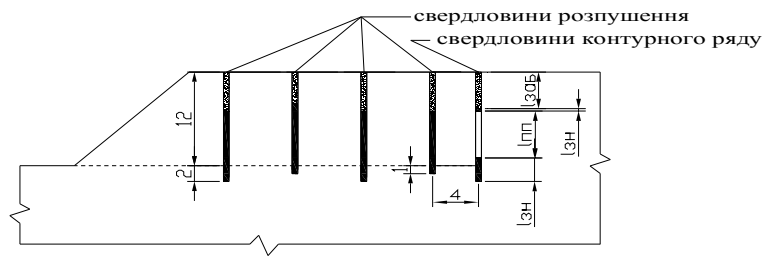
Аналіз геологічних особливостей родовища показує, що основна його частина (геологічні розрізи Х-XXI) з позиції забезпечення стійкості є відносно простою. Тут залягання шарів порід круте, пологопадаючих поверхонь у кар'єр не спостерігається.

При веденні гірничих робіт у граничних або тимчасово неробочих контурів кар'єру необхідно виділити приконтурну зону. Зазвичай, приконтурну зону встановлюють за результатами маркшейдерських інструментальних спостережень як зону залишкових деформацій. Для умов кар'єру Полтавського ГЗКа потужність цієї зони орієнтовно можна вважати рівній 30 м.

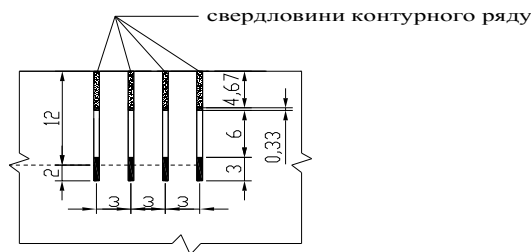
При відпрацьовуванні приконтурної зони необхідно застосовувати попереднє щілеутворення. Із цією метою в площині укусу під проектним кутом буриться ряд зближених свердловин. У свердловинах розміщається заряд спеціальної конструкції.

Відпрацьовування приконтурної зони здійснюється вертикальними свердловинами. Кількість рядів свердловин не повинне перевищувати 4, 5. Відстань між рядами, відстань між свердловинами, величина питомої витрати ВР приймається у відповідності встановленими нормами на подрібнення гірської маси. Схема комутації свердловинних зарядів діагональна. Найпоширеніший кут нахилу діагоналі до площини укусу - 45° . Підривання свердловинних зарядів короткосповільнене з інтервалом сповільнення: за допомогою РП-92 – 20-35 мс, з використанням неелектричної системи типу «НОНЕЛЬ» – 17-25 мс. Перебур свердловин розпушування диференційований. У контуру він укорочений на 50%, у наступного ряду збільшений на 50%, потім знову вкорочений і у першого ряду збільшений. У породах малої і середньої міцності (мілкоблочних) при вибухах у приконтурній зоні в надберменої частини нижчележачого уступу необхідно зменшити на 50 – 60 % перебур свердловин розпушування. У пропонованій технології в свердловинах контурного ряду гірлянди із тротилових шашок на нитці детонуючого шнура (ДШ) пропонується замінити зменшеним зарядом промислової вибухової речовини, розосередженої повітряним проміжком. Величина заряду залежить від типу розроблювальних порід, висоти розроблювального уступу, відстані між свердловинами в контурному ряді.

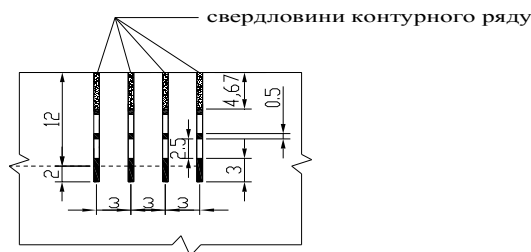
Наявність повітряних проміжків дозволяє розосередити заряд по довжині свердловин і тим самим значно запобігти порушенню законтурного масиву. На рис.3.6 показані параметри свердловинних зарядів при діаметрах свердловин 250 мм і 160 мм,



а) взаємне розміщення свердловин розпушення і контурного ряду на уступі



б) параметри контурних зарядів при $d_{\text{свер}} = 250$ мм



в) параметри контурних зарядів при $d_{\text{свер}} = 160$ мм

Рис. 5 Конструкція і параметри свердловинних зарядів контурного ряду

Для забезпечення взаємодії зарядів суміжних свердловин контурного ряду і утворення екранної щілини, відстань між свердловинами повинна становити не більше 2-3 м. Параметри зарядів, наведені на рис. 5 орієнтовні і для кожного конкретного типу порід і ділянки борта кар'єру підлягають уточненню при дослідно-промислових випробуваннях. При проведенні дослідно-промислових робіт необхідно підбирати величину й глибину розміщення заряду, що забезпечують створення кута укосу обвалення, рівному куту шаруватості масиву.

У четвертому розділі розраховано та змодельовано основні параметри і умови виконання буропідривних робіт в умовах ДНРУ ВАТ „Полтавського ГЗК”

Проектом розробки Горишне-Плавнинського і Лавриківського родовищ Дніпровського рудоуправління ВАТ „Полтавський ГОК” передбачено ведення буропідривних робіт. Даним проектом буропідривних робіт передбачається подрібнення скельних порід з коефіцієнтом міцності по шкалі професора М. М. Протодьяконова $f = 10-20$ методом свердловинних зарядів з використанням вертикальних свердловин. Буріння підривних свердловин в гірничих породах з відбувається станками шарошкового буріння типу СБШ-250МН. У кар'єрі Дніпровського РУ застосовується багаторядне короткосповільнене підривання свердловинних зарядів.

Вибухові речовини, що використовуються – гранулотол, аммоніт 6ЖВ, граммоніти, акватол, полімікс ГР, комполайти ГС та анемікс Р70.

Застосовується наступні способи підривання:

1. За допомогою детонуючого шнура, ініціюємого електродетонаторами. Детонуючий шнур для боєвиків свердловин повинен різатись на відрізки потрібної довжини. Нарощування детонуючого шнура (ДШ) всередині свердловини неприпустимо. При введенні ДШ у бойовик, різати ДШ забороняється. Обов'язково дублювання ДШ у групах зарядів і забійці свердловин;

2. З використанням неелектричних систем ініціювання типу „НОНЕЛЬ” та «ІМПУЛЬС»

Конструкції свердловинних зарядів розроблені з врахуванням висоти уступів, ступеня обводненості, міцності підриваємих порід, при цьому обводнена частина свердловини заряджається водостійкими вибуховими речовинами або неводостійкими вибуховими речовинами у поліетиленовий рукав.

Ініціювання свердловинних зарядів відбувається проміжними детонаторами (ПД), які складаються з шашок Т -400Г, одно або двох ниток ДШ. Ініціювання мережі ДШ відбувається електродетонаторами, підключеними до підривної машини або виконуючого блоку установки радіопідривання „ГРОМ”

Подрібнення негабаритів виконується методом накладних зарядів шляхом використання патронуваного амоніту 6ЖВ, що підриваються за допомогою детонуючого шнура, ініціюємого електродетонаторами.

В якості сповільнювачів при подрібненні негабаритів застосовуються піротехнічні реле РП-92 з номінальним сповільненням 20мс, 35мс, 50 мс.

Проведені розрахунки залізистих кварцитів та вибухової речовини виходячи з даних ультразвукових досліджень, представлена методика перерахунку їх статичних і динамічних пружних властивостей. Розраховані основні гідродинамічні параметри детонаційних хвиль і продуктів детонації. В роботах Кравця В.Г,Вовка О.О.,Терентьева О.М. наведені методики розрахунку динамічних властивостей гірських порід. В дисертації Чали О.М. наведені повздовжні і поперечні швидкості розповсюдження поперечних і повздовжніх хвиль.

Визначано статичні і динамічні пружні властивості породи.

Динамічний модуль зсуву

$$G_{дин} = V_s^2 \times \rho, \quad (10)$$

Де V_s – швидкість розповсюдження поперечної хвилі 2590 м/с

ρ – щільність породи 3300 кг/м³

$$G_{дин} = 2590^2 \times 3300 = 2,21 \times 10^{10}$$

Динамічний модуль пружності

$$E_{дин} = 2 \times G_{дин} \times (1 + \rho) \quad (11)$$

$$E_{дин} = 2 \times 2,21 \times 10^{10} \times (1 + 3,3) = 19,006 \times 10^{10}$$

Статичний модуль зсуву

$$G_{стат} = \rho \times \left(V_p^2 - \frac{4}{3} \times V_s^2 \right), \quad (12)$$

Де V_p – швидкість розповсюдження повздовжньої хвилі м/с

$$G_{стат} = 3300 \times \left(4310^2 - \frac{4}{3} \times 2590^2 \right) = 3,17 \times 10^{10}$$

Статичний модуль пружності

$$E_{\text{стат}} = \frac{3 \times G_{\text{стат}} \times (3 \times G_{\text{стат}} + E_{\text{дин}})}{9 \times G_{\text{стат}} - E_{\text{дин}}} \quad (13)$$

$$E_{\text{стат}} = \frac{3 \times 3,17 \times (3 \times 3,17 + 2,21)}{9 \times 3,17 - 19,006} \times 10^{10} = 11,7 \times 10^{10}$$

Динамічний коефіцієнт Пуасона

$$\mu = \frac{0,5 - R^2}{1 - R^2} \quad (14)$$

$$R = \frac{V_s}{V_p} \quad (15)$$

$$R = \frac{2590}{4310} = 0,6$$

$$\mu = \frac{0,5 - 0,6^2}{1 - 0,6^2} = 0,2187$$

Стала Ляме

$$\lambda = \rho \times (V_p^2 - 2 \times V_s^2) \quad (16)$$

$$\lambda = 3300 \times (4310^2 - 2 \times 2590^2) = 1,7 \times 10^{10}$$

Визначення основних гідродинамічних параметрів детонаційних хвиль і продуктів детонації

В якості ВР обраний Анемікс 70 щільністю 1220 кг / м³. Для визначення стану продуктів детонації прийнято рівняння Джонса-Уїлкінсона-Лі (JWL) зі стандартними коефіцієнтами для даної ВР. За результатами проведених обчислювальних експериментів отримані залежності зміни щільності ВВ на фронті хвилі і тиску на фронті детонаційної хвилі, а також визначена масова швидкість частинок за фронтом хвилі і швидкість продуктів детонації

Основні гідродинамічні параметри детонаційних хвиль і продуктів детонації розраховані за формулами:

Розраховуємо для вибухової речовини Анемікс 70

Визначаємо щільність ВР на фронті детонаційної хвилі

$$\rho = \frac{4}{3} \times \rho_0, \quad (17)$$

де ρ_0 - початкова щільність ВР кг/м³

$$\rho = \frac{4}{3} \times 1220 = 1626,66 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Визначаємо масову швидкість за фронтом детонаційної хвилі

$$V_m = \frac{D \times (\rho - \rho_0)}{\rho}, \quad (18)$$

Де D- швидкість детонації м/с

$$V_m = \frac{5000 \times (1626,66 - 1220)}{1626,66} = 1250 \text{ м/с}$$

Визначаємо тиск у точці Чепмена-Жуге

$$P_{cj} = \frac{\rho_0 + D^2}{n+1}, \quad (19)$$

Де n - показник політропи продуктів вибуху, що залежить від початкової щільності ВР (для Анемікс 70 $n=3,2$)

$$P_{cj} = \frac{1220 \times 5000^2}{3,2+1} = 7,26 \text{ Гпа}$$

Визначаємо тиск на фронті детонаційної хвилі

$$P = 2 \times P_{cj} \times \left(1 - \frac{c^2}{D^2}\right) + P_0, \quad (20)$$

Де c - швидкість звуку у ВР (для Анемікс 70 $c = 3750$ м/с),

P_0 - атмосферний тиск 101,3 кПа.

$$P = 2 \times 7,26 \times \left(1 - \frac{3750^2}{5000^2}\right) + 0,0001 = 6,3526 \text{ ГПа}$$

Визначенні данні можна використовувати для подальшого комп'ютерного моделювання в динамічних пакетах.

У моделі розглядається вибух двох суміжних свердловинних зарядів вибухової речовини, розташованих в масиві гірських порід. Величина ЛНС - 5 м; довжина заряду вибухової речовини - 10 м; діаметр свердловин - 250 мм; відстань між свердловинами - 5 м; маса заряду в свердловині - 650 кг, величина забійки - 5 м; тип ВР – Анемікс 70. Моделюваний масив представлений гірською породою, що має межу міцності на одноосное стиснення 160 МПа. В якості моделі середовища була прийнята РНТ-модель міцності, яка найбільш адекватно відображає процес руйнування залізистих руд.

Геометрія моделі представлена у формі прямокутного паралелепіпеда з розмірами 15 × 10 × 15 м (Д × Ш × В) і розміщеними в ньому двома отворами діаметром 250 мм і глибиною 15 м

При моделюванні необхідно провести операції по прив'язці матеріалів до існуючої геометрії, побудові кінцево-елементної сітки, завданням навантажень, початкових і граничних умов, внести необхідні корективи в критерії міцності і руйнування.

Масив гірських порід моделюється шляхом прив'язки лагранжевого вирішувача до побудованої геометрії, а вибухають ВР, продукти детонації і навколишнє середовище за допомогою багатокomпонентного ейлерового вирішувача. Вбудований в програму алгоритм зв'язування різних розрахункових сіток дозволяє реалізовувати розрахунок рідин і газів з твердими тілами, а також їх взаємодію.

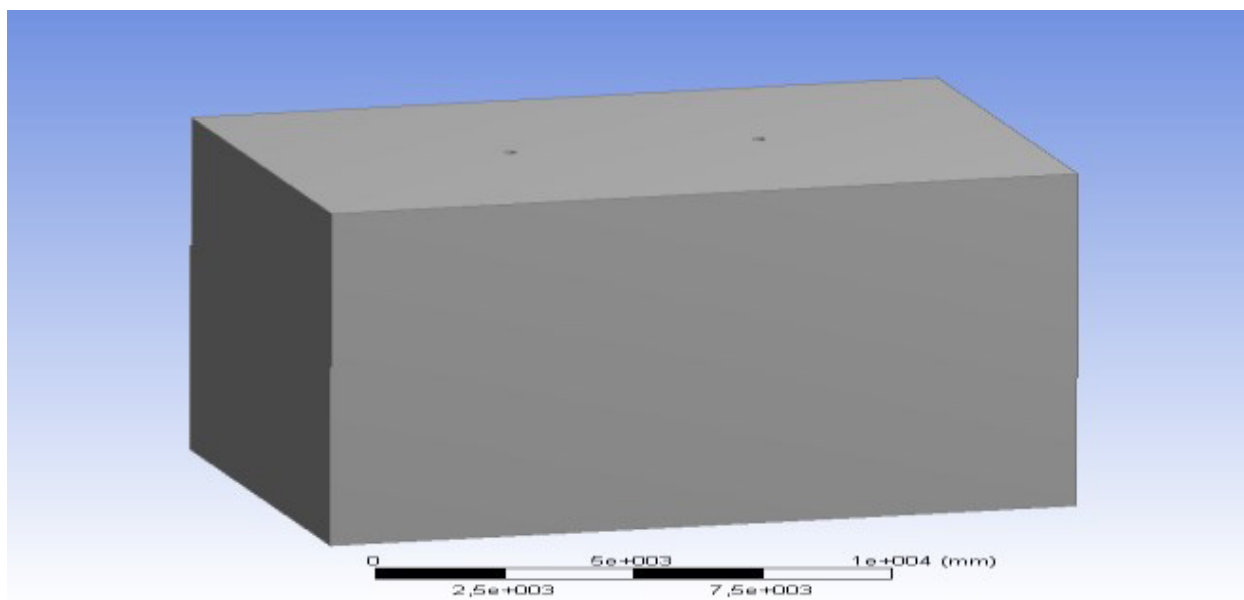
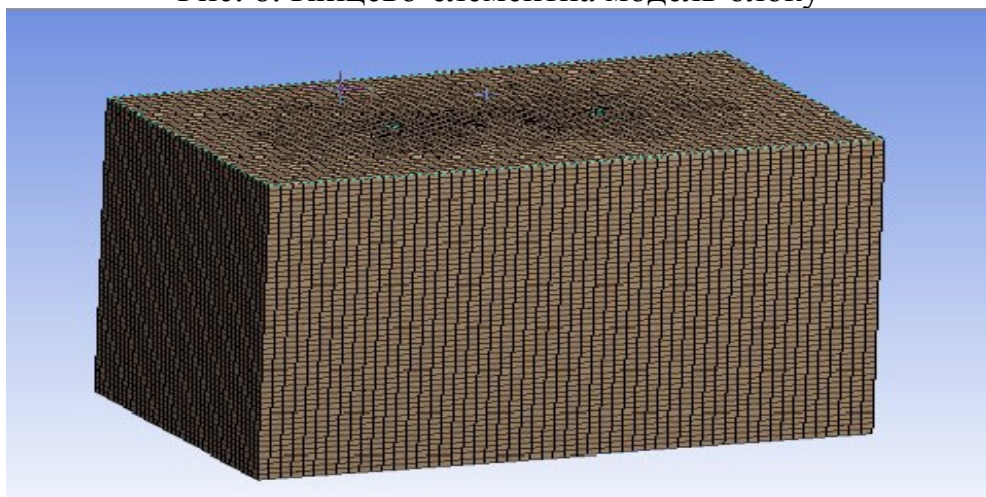


Рис 7. Периметр побудованої геометрії

Розрахункова область лагранжевої частини складається з 300 000 гексаедріческих елементів, ейлерову - з $\approx 3\,500\,000$, таким чином, сумарна кількість елементів моделі становить $\approx 3\,800\,000$. Висока дискретизація ейлерову розрахункової сітки пояснюється внутрішньою організацією розрахункового алгоритму, а також рекомендаціями виробника програмного забезпечення, слідуючи яким для адекватного розрахунку гідро-динамічних параметрів необхідно, щоб лінійні розміри елемента ейлерової частини були як мінімум в два рази менше лінійних розмірів елемент Лагранжевої частини.

При виборі граничних умов прийнята умова непротекання продуктів детонації через кордони розрахункової області назад в модель і умова відображення нормальної складової хвиль напружень по 2-м граням.

Рис. 8. Кінцево-елементна модель блоку



При моделюванні вибуху свердловинних зарядів в масиві гірських порід були отримані розподілу полів тисків і формування зони нпорушенности в масиві на будь-який момент часу. Як приклад наведено розподіл поля тисків в масиві на момент часу 2 мс

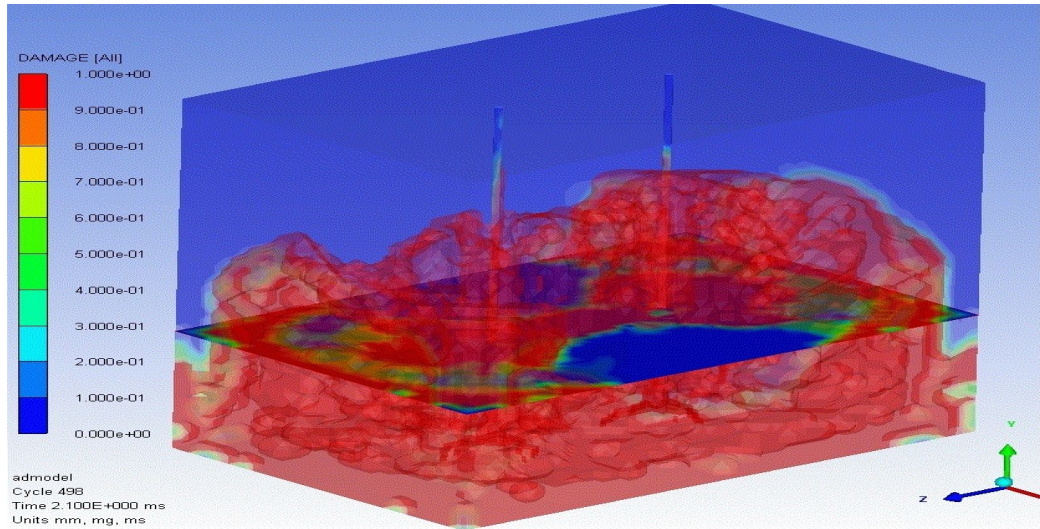


Рис. 9 Формування зони можливої порушеності масиву на момент часу 2 мс

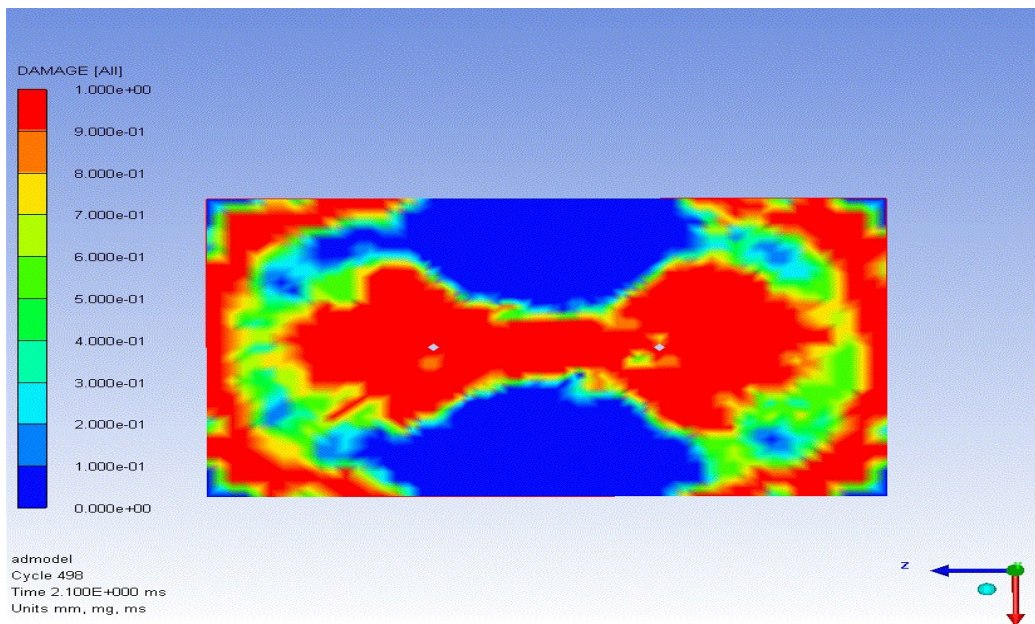


Рис. 10 Формування зони можливої порушеності масиву на момент часу 2 мс

В ході проведення обчислювальних експериментів відпрацьований підхід до вирішення завдань вибуху свердловинних зарядів в масиві гірських порід в тривимірній постановці.

У **п'ятому розділі** проаналізовано можливості впровадження стартап проекту даної моделі, її доцільність та способи реалізації.

ВИСНОВКИ

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Для оцінки ефективності застосування методу попереднього щілеутворення рекомендується використовувати коефіцієнт ефективності застосування контурного підривання, а для визначення оптимальних параметрів контурного підривання пропонується використовувати умову, яка враховує напружений стан гірського масиву

2. Встановлені особливості процесу формування екрануючої щілини в залізистих кварцитах. Зокрема, ширина зони подрібнення по лінії свердловинних зарядів в процесі формування екрануючої щілини залежить від блочності масиву: при крупноблочній будові масиву вона є витриманою по довжині і значною за розмірами; при мілкоблочній будові масиву – нерівна по довжині і незначна за розмірами.

3. Пропонується спосіб формування постійних бортів кар'єру шляхом застосування методу попереднього щілеутворення із формуванням спеціальних конструкцій свердловинних зарядів, а саме виконувати зменшені заряди промислових вибухових речовин, що розосереджені повітряним проміжком.

4. Отримані результати комп'ютерного моделювання дозволяють розглянути процес руйнування гірської породи в умовах ДНРУ ВАТ „Полтавського ГЗК” в процесі взаємодії зарядів, що дає можливість визначити оптимальні відстані між ними за умовами енергонасиченості масиву і необхідного ступеня дроблення.

АНОТАЦІЯ

Пасько М.В. Удосконалення параметрів контурного підривання скельних порід для забезпечення стійкості бортів кар'єру. – Рукопис.

Дипломна робота магістра Пасько Миколи Володимировича виконана на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «КПІ імені І.Сікорського» по спеціальності 184 за напрямком підготовки – Гірництво за темою: «Удосконалення параметрів контурного підривання скельних порід для забезпечення стійкості бортів кар'єру».

Робота складається зі вступу, 5 частин, висновків, переліку посилань. Має 86 сторінки тексту, 9 таблиці, 13 рисунків та 79 джерело літератури.

В результаті проведених досліджень встановлено, що визначальними факторами при формуванні постійних бортів кар'єру є структурно-геологічні умови залягання гірських порід, гідрогеологічні умови району та виконання буропідривних робіт в зоні формування бортів кар'єру.

В дипломній роботі магістра проаналізовано стан питання щодо формування постійних бортів кар'єру при розробці скельних порід, встановлені основні фактори, що визначають параметри стійкості відкосів скельних уступів і бортів залізородних кар'єрів, розглянуто методи виконання буропідривних робіт при завідкосці уступів.

Пропонується виконувати кількісну оцінку ефекту від застосування методу попереднього щілеутворення за допомогою коефіцієнта ефективності застосування контурного підривання, а для визначення оптимальних параметрів контурного підривання пропонується використовувати умову, яка враховує напружений стан гірського масиву

За результатами аналізу інженерно-геологічних умов залягання скельних порід в межах кар'єру ДнРУ ВАТ «Полтавський ГЗК» встановлено, що завідкоску проектних бортів уступів, без застосування спеціальних технологій, виконати неможливо. В зв'язку з цим рекомендовано спосіб формування постійних бортів кар'єру із застосуванням методу попереднього щілеутворення. Формування зарядів контурних свердловин пропонується виконувати зменшеними зарядами промислової вибухової речовини, розосередженої повітряним проміжком, конструкція яких повинна уточнюватися для кожного конкретного типу порід і ділянки борта кар'єру.

Ключові слова: кар'єр, скельні породи, борт кар'єру, уступ, буропідривні роботи, контурний ряд, щілеутворення, заряд, вибухова речовина, повітряний проміжок.

АННОТАЦИЯ

Пасько М.В. Совершенствование параметров контурного взрывания скальных пород для обеспечения устойчивости бортов карьера. - Рукопись.

Дипломная работа магистра Пасько Николая Владимировича выполнена на кафедре геоинженерии Национального технического университета Украины «КПИ имени И.Сикорского» по специальности 184 по направлению подготовки – горное дело по теме: «Совершенствование параметров контурного взрывания скальных пород для обеспечения устойчивости бортов карьера».

Работа состоит из введения, 5 частей, заключения, списка ссылок. Имеет 86 страницы текста, 9 таблицы, 13 рисунков и 79 источников литературы.

В результате проведенных исследований установлено, что определяющими факторами при формировании постоянных бортов карьера структурно-геологические условия залегания горных пород, гидрогеологические условия района и выполнения буровзрывных работ в зоне формирования бортов карьера.

В дипломной работе магистра проанализированы состояние вопроса по формированию постоянных бортов карьера при разработке скальных пород, установлены основные факторы, определяющие параметры устойчивости откосов скальных уступов и бортов железорудных карьеров, рассмотрены методы выполнения буровзрывных работ при завидкосци уступов.

Предлагается выполнять количественную оценку эффекта от применения метода предварительного шилеутворення с помощью коэффициента эффективности применения контурного взрывания, а для определения оптимальных параметров контурного взрывания предлагается использовать условие, которое учитывает напряженное состояние горного массива.

По результатам анализа инженерно-геологических условий залегания скальных пород в пределах карьера ДнРУ ОАО «Полтавский ГОК» установлено, что завидкоску проектных бортов уступов, без применения специальных технологий, выполнить невозможно. В связи с этим рекомендуется способ формирования постоянных бортов карьера с применением метода предварительного шилеутворення. Формирование зарядов контурных скважин предлагается выполнять уменьшенными зарядами промышленной взрывчатого вещества, рассредоточенной воздушным промежутком, конструкция которых должна уточняться для каждого конкретного типа пород и участки борта карьера.

Ключевые слова: карьер, скальные породы, борт карьера, уступ, буровзрывные работы, контурный ряд, шелеобразование, заряд, взрывчатое вещество, воздушный промежуток.

ABSTRACT

Pasko MV Improvement of parameters of contour blasting of rocks to ensure the stability of the sides of the quarry. - The manuscript.

Master's Degree work by Pasko Nicholas Volodymyrovych is executed at the Department of Geoengineering of the National Technical University of Ukraine "KPI named after I. Sikorsky" on the specialty 184 in the direction of preparation - "Mining" on the theme: "Improvement of parameters of contour blasting of rocks to ensure the stability of the sides of the car" yer ".

The work consists of an introduction, 5 parts, conclusions, a list of references. Has 86 pages of text, 9 tables, 13 drawings and 79 literature source.

As a result of the research, it was determined that the structural and geological conditions of occurrence of rocks, the hydrogeological conditions of the area and the performance of drilling and drilling operations in the zone of the formation of the career sides are the decisive factors in the formation of permanent career sides.

In the dissertation of the master, the state of the question on the formation of permanent career sides in the development of rock formations, the main factors determining the parameters of the stability of slopes of rocky ledges and sides of iron ore quarries are determined, the methods of performance of drilling and drilling operations at the level of the ledges are considered.

It is proposed to perform a quantitative estimation of the effect from the application of the preliminary slit method using the coefficient of effectiveness of contour blasting, and to determine the optimal parameters of contour blasting it is proposed to use a condition that takes into account the tense state of the rock massif

According to the results of the analysis of the engineering-geological conditions for the occurrence of rocky rocks within the limits of the Dniproenergy's career, OJSC Poltava Mining and Metallurgical Complex has established that it is impossible to execute design slabs of the slopes without the use of special technologies. In this connection, the recommended method of forming permanent career sides using the method of preliminary slit formation. The formation of contour wells is proposed to be carried out by reduced charges of an industrial explosive dispersed by an air gap, the design of which must be specified for each specific type of rock and plot of the quarry.

Key words: quarry, rocky rock, career board, ledge, drilling, contour row, slit formation, charge, explosive substance, air gap