

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**МАЛЬЦЕВ ДМИТРО ВАЛЕРІЙОВИЧ**

**УДК 622.241.5/.8:622.349.5**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ  
ПРИ РУЙНУВАННІ МАСИВУ УРАНОВМІСНИХ РУД**

**Спеціальність 05.15.02 – Підземна розробка родовищ  
корисних копалин**

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Дніпропетровськ – 2013**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

### **Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

**КОВАЛЕВСЬКА  
Ірина  
Анатоліївна**

### **Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор, ректор Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України

**СТУПНІК  
Микола  
Іванович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу механіки вибуху гірських порід Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ)

**ЩЕНКО  
Костянтин  
Степанович**

Захист відбудеться «26» квітня 2013 р. о 12:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 із захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. (0562) 47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий «21» березня 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03,  
кандидат технічних наук, доцент

В.І. Тимошук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Найпоширенішими у світі енергоносіями є нафта, газ, вугілля й уран. Україна в достатній мірі забезпечена тільки вугіллям і ураном, причому запаси урану становлять 4% від світових. Це виводить нашу країну в десятку лідерів міжнародного рейтингу власників уранових руд. За існуючого рівня забезпеченості баланс використання енергії урану до інших енергоносіїв становить 44 на 56% не на користь урану. При цьому розвідані запаси, а це понад 20 родовищ урану, можна розроблювати тільки підземним способом. Низький вміст урану в рудах і висока енергоємність виробництва формує ціни на вітчизняну сировину як одні з найвищих у світі й дозволяє забезпечити паливом українські АЕС лише на 33 – 38%.

Видобування уранових руд в Україні здійснює державне підприємство «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (ДП «СхідГЗК») із застосуванням на шахтах камерних систем розробки з відбійкою руди з підповерхових штреків із закладкою та використанням на прохідницьких і очисних роботах буропідривноїго способу відбійки. Одним із шляхів зниження витрат є оптимізація параметрів руйнування масиву, де основним технологічним процесом, що впливає на собівартість видобування руди, є буріння й висадження експлуатаційних свердловин. Збільшення глибини розробки призводить до зростання впливу напружено-деформованого стану (НДС) масиву на ведення очисних робіт і, як наслідок, зміни обсягу вторинного подрібнення, перевитрати вибухових речовин і засобів ініціювання зарядів, збільшення обсягів буріння експлуатаційних свердловин. Таким чином, обґрунтування раціональних параметрів буропідривних робіт (БПР) при руйнуванні масиву уранових руд, з урахуванням зміни НДС масиву навколо очисного простору, має актуальне значення для паливно-енергетичного комплексу України.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» і пов'язана з роботами Міністерства освіти і науки України в період 2005 – 2013 рр. за темами: ГП-346 «Наукові основи геомеханіки зміцнення слабких порід навколо гірничих виробок», № держреєстрації 0105U000500; ГП-391 «Обґрунтування геомеханічної моделі процесів зрушення слабого шаруватого масиву навколо виробок», № держреєстрації 0107U000375; № 26/121-06 «Дослідження й розробка параметрів буропідривних робіт на основі безтритилових вибухових речовин на шахті ДП «Дирекція», № держреєстрації 0107U004832; № 26/122-06 «Дослідження, розробка, промислові випробування й впровадження параметрів буропідривних робіт на основі неелектричних засобів ініціювання зарядів на шахті ДП «Дирекція», в яких автор був відповідальним виконавцем.

**Мета роботи й завдання дослідження.** Метою роботи є обґрунтування раціональних параметрів БПР при руйнуванні масиву уранових руд з урахуванням зміни НДС масиву, викликаного впливом очисних робіт у камерах.

Для досягнення мети були вирішені наступні задачі:

1. Обґрунтувати термодинамічну модель НДС в масиві руд, що вміщує очи-

сну камеру, який характеризується ростом напружень і деформацій.

2. Провести комплексне дослідження НДС масиву, що вміщує очисний простір камери, встановити основні закономірності та оцінити імовірність отриманих результатів.

3. Провести лабораторні дослідження з визначенням областей деформації та промислові дослідження зміни гранулометричного складу відбитої руди.

4. Обґрунтувати раціональні параметри технології руйнування уранової руди.

5. Довести економічну доцільність запропонованих технологічних рішень.

**Об'єктом дослідження** є процеси в системі «вміщуючий масив – очисна камера» при камерних системах розробки з наступною закладкою очисного простору в умовах уранових шахт України.

**Предметом дослідження** є технологічні параметри експлуатаційних свердловин, розташованих у зоні впливу очисного простору камер.

**Ідея роботи** полягає у використанні закономірностей, що описують ефект знеміцнення масиву руди навколо очисного простору камер для обґрунтування раціональних параметрів його руйнування.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач використано комплексний підхід, який включав: аналіз науково-технічних і проектно-конструкторських робіт з питань відпрацювання руд за допомогою камерних систем розробки, аналітичне і фізичне моделювання та промислові експерименти. Теоретичне моделювання виконано за допомогою термодинамічного методу (за Лавриненком В.Ф.), лабораторні дослідження – методом еквівалентних матеріалів, промислові експерименти – за результатами маркшейдерських зйомок.

**Наукові положення, що виносяться на захист:**

1. З розвитком очисних робіт, за простяганням рудного покладу, лінія найменшого опору зарядів для експлуатаційних свердловин змінюється за степеневою залежністю і досягає свого екстремуму на флангах очисної камери, що дозволяє зменшити витрати на ведення БПР до 20%.

2. Зі зміною глибини закладення бурових виробок і збільшенням відстані від геометричного центру очисної камери до її меж відстань між експлуатаційними свердловинами у віялі змінюється за степеневою залежністю і досягає максимальних значень по осьовій горизонтальній лінії камери; врахування цієї закономірності забезпечує зниження витрат на БПР до 15%.

**Обґрунтованість і вірогідність** наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: застосуванням апробованих методів дослідження; коректною постановкою і вирішенням задач при моделюванні термодинамічних процесів навколо очисної камери й розрахунку НДС масиву; використанням апробованих методів при виконанні теоретичних, лабораторних та натурних експериментів; задовільною збіжністю у результатах між трьома видами досліджень проявів гірського тиску, яка склала для теоретичних і лабораторних значень 10,4 – 13,7% та 14,2% при натурних дослідженнях.

**Наукове значення роботи** полягає у встановленні закономірностей впливу НДС масиву уранових руд, що вміщують очисну камеру, на визначення лінії найменшого опору (ЛНО) зарядів та відстані між кінцями свердловин при руйну-

ванні масиву; у виявленні закономірності, що описує зміну витрат на вторинне подрібнення залежно від розмірів очисного простору камер.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

– уперше обґрунтовано геомеханічну модель, що враховує вплив НДС масиву порід на окремі шари навколо очисної камери;

– уперше встановлена степенева залежність ЛНО зарядів від діапазону розвитку очисних робіт, а також зв'язок відстані між експлуатаційними свердловинами у віялі і геометричними розмірами очисної камери, що дозволяє знизити витрати на БПР;

– визначено уточнюючий коефіцієнт для ЛНО, що корелюється в межах 30% від базової ЛНО для конкретних горизонтів та окремих віял свердловин;

– отримано степеневу залежність, що описує зміну витрат на вторинне подрібнення залежно від розмірів очисного простору камер.

**Практичне значення роботи** полягає в наступному:

– розроблені технологічні рішення свердловинної відбійки руд, які дозволяють враховувати вплив розмірів очисних камер на визначення ЛНО зарядів та відстані між кінцями свердловин, що дає можливість знизити матеріальні витрати й підвищити безпеку робіт;

– удосконалені параметри технології руйнування масиву з урахуванням місця закладення бурових підповерхів в очисних блоках;

– доведено економічну доцільність запропонованих параметрів технології руйнування масиву.

**Особистий внесок здобувача** полягає у визначенні напрямку і завдань дослідження; виборі методів та розробці методик проведення аналітичного й фізичного моделювань; обробці отриманих результатів і формулюванні наукових положень; апробації і впровадженні технологічних рішень в умовах діючих уранових шахт України.

**Апробація результатів.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на міжнародних науково-практичних конференціях: «Форум гірників» (м. Дніпропетровськ, 2005, 2006 рр.); «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості» (м. Кривий Ріг, 2006 р.); «Школа підземної розробки» (м. Ялта, 2007, 2009, 2010 рр.); Міжнародний форум-конкурс молодих вчених (м. Санкт-Петербург, 2011 р.).

**Публікації.** Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи викладені у 17 друкованих роботах у тому числі в 7 статтях у фахових виданнях, та 8 публікаціях у матеріалах конференцій, отримано позитивне рішення від ДП «Український інститут промислової власності» про видачу патенту України на корисну модель та 1 довідник.

**Обсяг і структура дисертації**

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків і переліку джерел з 136 найменувань на 11 сторінках; містить 123 сторінки машинописного тексту, 41 рисунок на 22 сторінках, 10 таблиць і 2 додатки на 21 сторінці; загальний обсяг роботи – 177 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність обраної теми, сформульовані мета й завдання досліджень, наведені наукові положення, що виносяться на захист, наукове й практичне значення роботи, апробація і публікації результатів досліджень.

У першому розділі «Стан питання, мета і завдання дослідження» розглядаються проблеми керування станом масиву гірських порід при видобуванні руд за допомогою камерних систем розробки. Сучасні досягнення в області розробки методів, визначення і вивчення НДС масиву, керування напруженим станом руд і порід навколо очисного простору камер, які базуються на фундаментальних положеннях теорій керування гірським тиском і руйнування гірських порід.

Розробкою ресурсозберігаючих технологій при видобуванні руд з дослідженням НДС гірських порід займалася велика кількість дослідників України та СНД. Цим питанням присвячені роботи, виконані в Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» Борисенком С.Г., Ширіним Л.Н., Кузьменком О.М., Хоменком О.Є., Кононенком М.М.; у Державному ВНЗ «Криворізький національний університет» Капленком Ю.П., Андрєєвим Б.М., Мутамбо В.П. та ін. Базовими дослідженнями для роботи є результати Капленка Юрія Петровича. Він запропонував усереднений вплив НДС на параметри БПР при відпрацюванні запасів очисних камер без диференціювання на стадіях відпрацювання. Таким чином, питання більш точного врахування впливу НДС на окремі шари руди у блоці не вивчалось. Крім цього досліджували в роботі параметри руйнування уранового масиву стосуються уранових руд, які залягають в альбітитах з міцністю 120 – 180 МПа та неявним поділом масиву руди й порід.

Виконано аналіз запасів уранової руди, тенденцій розвитку технологій і споживання уранової сировини в Україні. Дослідження показали, що сучасний обсяг видобутку уранової сировини на шахтах ДП «СхідГЗК» постійно зростає та забезпечує потреби всього на 33 – 38% від необхідного обсягу для країни.

На основі проведеного аналізу науково-технічних і проектно-конструкторських розробок встановлено, що параметри руйнування урановмісного масиву, які визначаються на шахті «Смолінська», не враховують у процесі очисного видобування руди НДС масиву в межах очисної камери. Отже, обґрунтування і добір раціональних параметрів технології руйнування урановмісного масиву в очисних камерах не тільки зменшить витрати на видобування стратегічної сировини, але й дозволять підвищити безпеку праці при очисних роботах. У результаті виконаного аналізу щодо застосування БПР можна стверджувати, що віялове розташування свердловин при виконанні очисних робіт на шахтах України широко застосовується у порівнянні з іншими способами відбійки рудних корисних копалин. Обґрунтовано необхідність визначення параметрів руйнування масиву для уранових руд, які залягають в альбітитах, міцністю 120 – 180 МПа з неявним поділом масиву руди й породи. Для встановлення впливу очисного простору камер на формування зон НДС, і визначення параметрів руйнування масиву з урахуванням місця закладення бурових горизонтів від ступеня відпрацювання запасів камери, визначено науково обґрунтований термодинамічний метод моделювання та етапи його виконання. Обґрунтовано метод моделювання на еквівалентних матері-

алах для вивчення процесів деформування масиву, що вміщує очисну камеру, і етапи його виконання. Обрано метод маркшейдерських зйомок як непрямий метод визначення НДС уранового масиву. Доведена його адекватність для перевірки збіжності з теоретичними й лабораторними дослідженнями. Визначено основні дослідницькі етапи методу. Знайдено закономірність впливу розмірів очисного простору камери на НДС масиву, яка описується степеневою залежністю. Дослідження виконані на базі визначення радіальних напружень від місця знаходження шарів руди, що відбивають, за висотою камери на бурових горизонтах. На базі методу моделювання на еквівалентних матеріалах визначені вплив розмірів очисного простору на деформування масиву моделі у вигляді степеневої залежності. Методом маркшейдерської зйомки непрямо зазначено рівень НДС відбиваних шарів руди. Результати промислових досліджень впливу очисного простору на

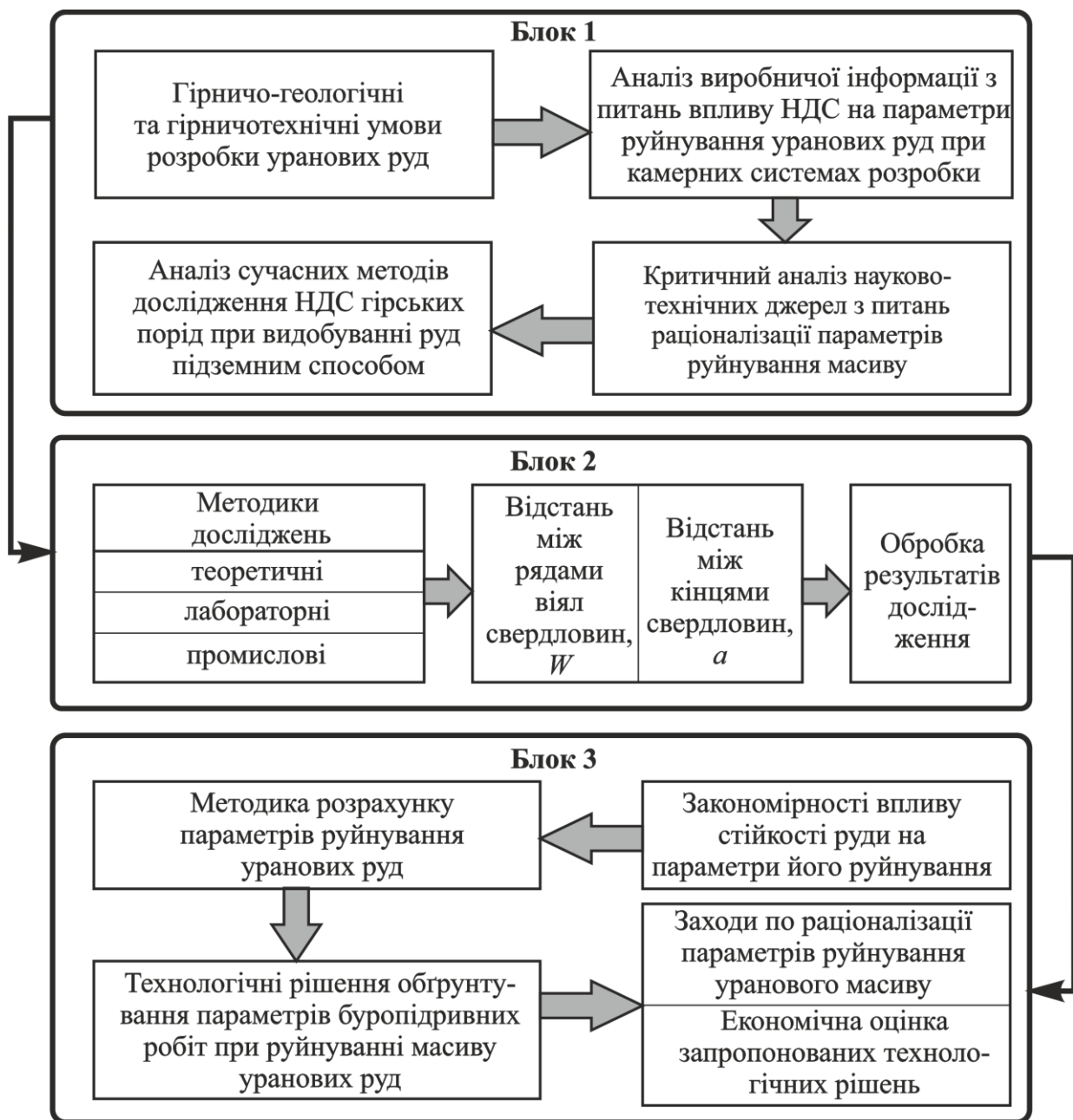


Рис. 1. Структурно-логічна схема загальної методики дослідження

витрати вторинного дроблення і вихід негабариту показали, що витрати інтенсивно знижуються при 60 – 75% відпрацювання запасів камери й продовжують менш інтенсивно знижуватися до моменту досягнення проектних розмірів очисної камери. Результатом промислових досліджень є степенева залежність, що описує зміну витрат на вторинне дроблення залежно від довжини очисного простору камери (рис. 1).

У другому розділі «Добір методів дослідження напружено-деформованого стану масиву» розроблено методику та розрахункові схеми аналітичного моделювання термодинамічних процесів у масиві зони розвантаження, що формується навколо очисного простору (рис. 2).

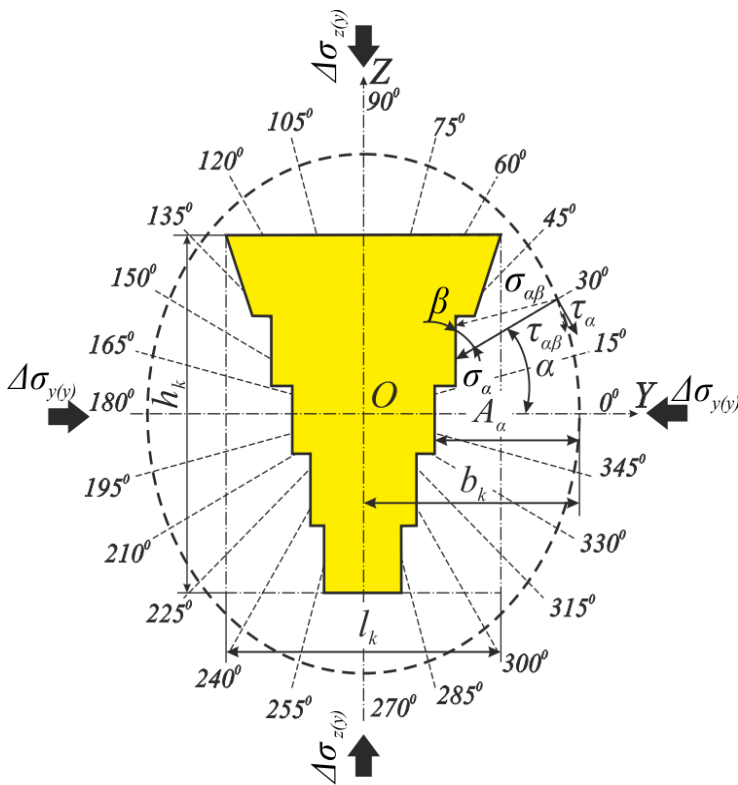


Рис. 2. Розрахункова схема моделювання термодинамічних процесів, що відбуваються в масиві зон розвантаження очисної камери в площинах  $ZOX$ ,  $ZOY$  і  $XOY$ , МПа:  $\Delta\sigma_{z(y)}$  і  $\Delta\sigma_{x(y)}$  – вертикальні й горизонтальні потенційні напруження непорушеного масиву порід, МПа;  $\alpha$  – кут між розрахунковою площею й віссю  $OX$ , градус;  $\beta$  – кут між напрямком  $\sigma_\alpha$  і дотиковий у точці перетину розрахункової площі з контуром очисної камери, градус;  $x$  – поточна координата положення точки на розрахунковій площі, м;  $A_\alpha$  – відстань уздовж площі від границі зони розвантаження до контуру очисної ка-

камери, м;  $h_k$  – вертикальний розмір відслонення масиву, м;  $l_k$  – горизонтальний розмір відслонення масиву, м;  $O$  – центр очисної камери, початок системи координат  $XYZ$ ;  $a$  – вертикальна піввісь зони розвантаження, спрямована уздовж осі  $OZ$ , м;  $b$  – горизонтальна піввісь зони розвантаження, спрямована уздовж осі  $OX$ , м;  $\sigma_\alpha$  і  $\tau_\alpha$  – радіальні й тангенціальні напруження в непорушеного масиві, МПа;  $\sigma_{\alpha\beta}$  і  $\tau_{\alpha\beta}$  – радіальні й тангенціальні залишкові потенційні напруження, МПа

Виходячи із сучасних наукових теорій та гіпотез, при утворенні очисної камери відбувається порушення первісної природної рівноваги в масиві гірських порід, яку можливо змоделювати за допомогою термодинамічного методу. Для визначення порушень стану масиву руди після початку очисних робіт складені розрахункові схеми моделювання термодинамічних процесів, що відбуваються в масиві навколо очисної камери. Методика виконання теоретичних досліджень за допомогою термодинамічного методу передбачає: формування бази даних для дослідження очисних камер; складання розрахункової схеми дослідження термодинамічних процесів, що відбуваються навколо очисних камер; визначення напружень



для різних ступенів відпрацювання запасів камер; визначення областей деформування масиву; виявлення залежностей деформації масиву. Для проведення фізичного моделювання був обраний метод еквівалентних матеріалів за визначеною методикою: підбір еквівалентного матеріалу, що відповідає альбітиту; визначення його фізико-механічних властивостей; підготовка матеріалу й формування моделі на стенді; формування, привантаження моделі камери й визначення руйнування масиву; виявлення залежностей деформацій масиву моделі. Для проведення промислових досліджень був обраний і докладно описаний метод з використанням маркшейдерських зйомок, в якому фіксували зруйнований масив та виконували обробку отриманих даних у програмі «WIPfrag» з подальшим поділом фракцій за розміром куска, побудови гістограм виходу гранулометричного складу за час роботи очисної камери з урахуванням витрат вибухових речовин і засобів ініціювання на штреку вторинного подрібнення.

**У третьому розділі** «Дослідження впливу розмірів очисного простору камер на вміщуючий масив» наведені результати досліджень впливу розмірів очисних камер на шари руди, що відбиваються.

Теоретичні дослідження термодинамічних процесів, що протікають в навколишньому масиві руди після початку ведення очисних робіт, виконані за допомогою термодинамічного методу, що дозволяє з максимальною точністю визначити величину й напрямок радіальних напружень  $\sigma_p$ , одержанням залежностей, що описують поширення радіальних напружень у межах кожного бурового горизонту (рис. 3).

Визначено радіальні напруження, що формуються в масиві, з урахуванням очисних робіт, які залежать від місця знаходження відбиваних шарів за висотою камери. Це дозволило виявити закономірності впливу довжини та висоти камери на НДС масиву, які описані степеневою залежністю. Характер зміни радіальних напружень залежно від постійної глибини ведення очисних робіт (460 – 550 м), місця закладення кожного бурового горизонту  $H_i$ , висоти  $h_k$  і довжини  $l_k$  камери за результатами теоретичних досліджень має вигляд:  $\sigma_p = al_k^3 - bl_k^2 + cl_k - d$  з коефіцієнтом достовірності не менш ніж  $R^2 = 0,96$  та відповідно для кожного бурового горизонту наведено на рис. 4.

Лабораторні дослідження проведені на спеціальній установці моделювання гірського тиску шляхом інструментальних вимірів величин деформації масиву еквівалентного матеріалу навколо очисного простору. Для цього в масиві еквівалентного матеріалу утворювали порожнину, що імітувала очисний простір. Отримані результати деформації моделі навколо очисної камери наведені на рис. 5. За результатами стискання моделі у вертикальній площині, без можливості розширення в горизонтальній, одержано характер руйнування масиву навколо очисного простору. Основні області деформації і тріщиноутворення в масиві еквівалентного матеріалу розташувалися з протилежних сторін від камери.

Аналіз отриманих результатів довів, що у напрямку очисного простору в масиві діють розтягуючі напруження, які виникають у результаті перетворення потенційної енергії в кінетичну роботу розширення. Области деформації розташовані біля середньої частини камери між горизонтами 2 і 5, їх значення досягають 25 мм. Вони беруть початок у покрівлі другого бурового горизонту й входять у підшву

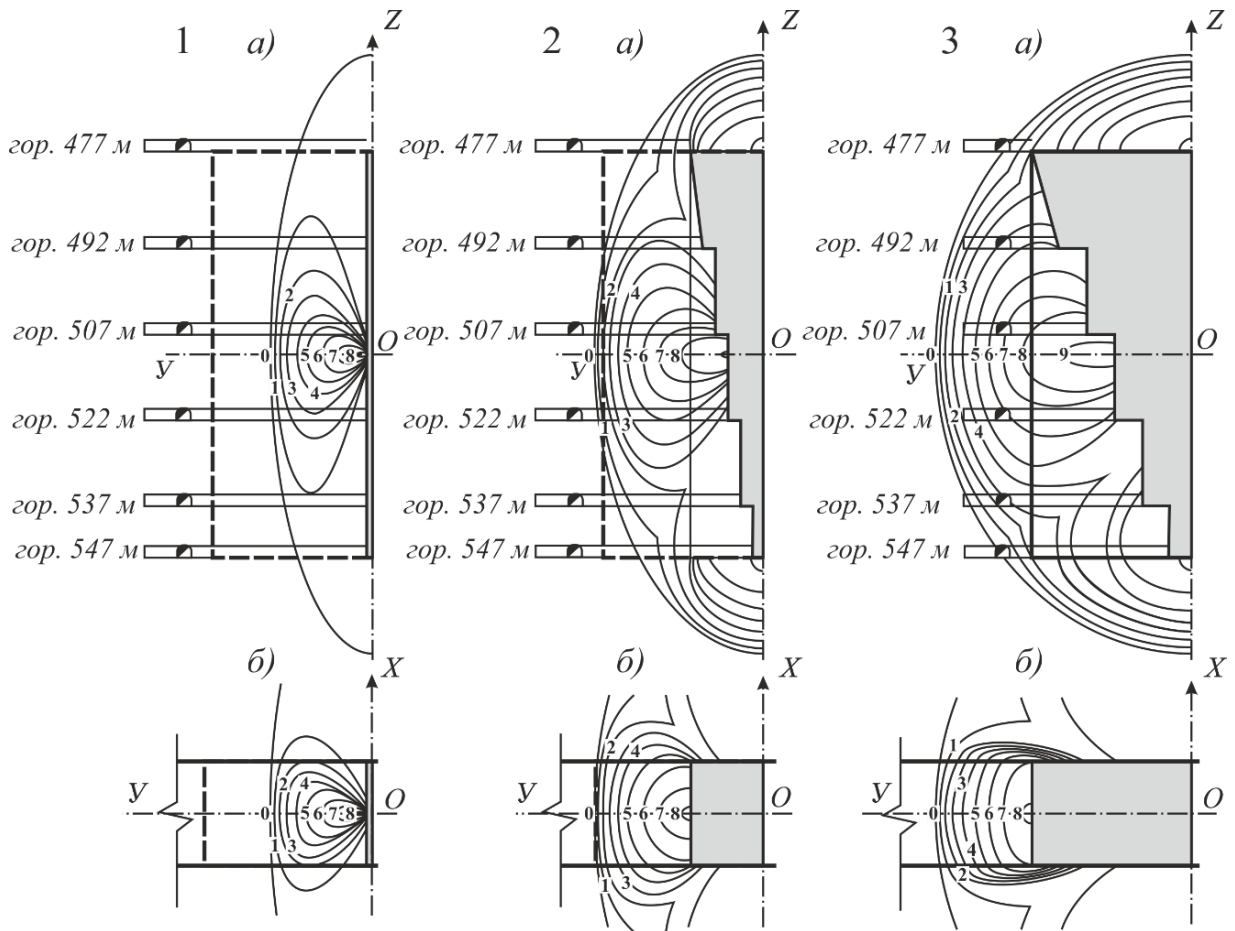


Рис. 3. Ізолінії радіальних напружень  $\sigma_r$  навколо очисної камери за стадіями відпрацювання запасів: 1 – відрізна щілина, 2 – 40%, 3 – 90% відповідно, від проектних розмірів очисної камери, МПа

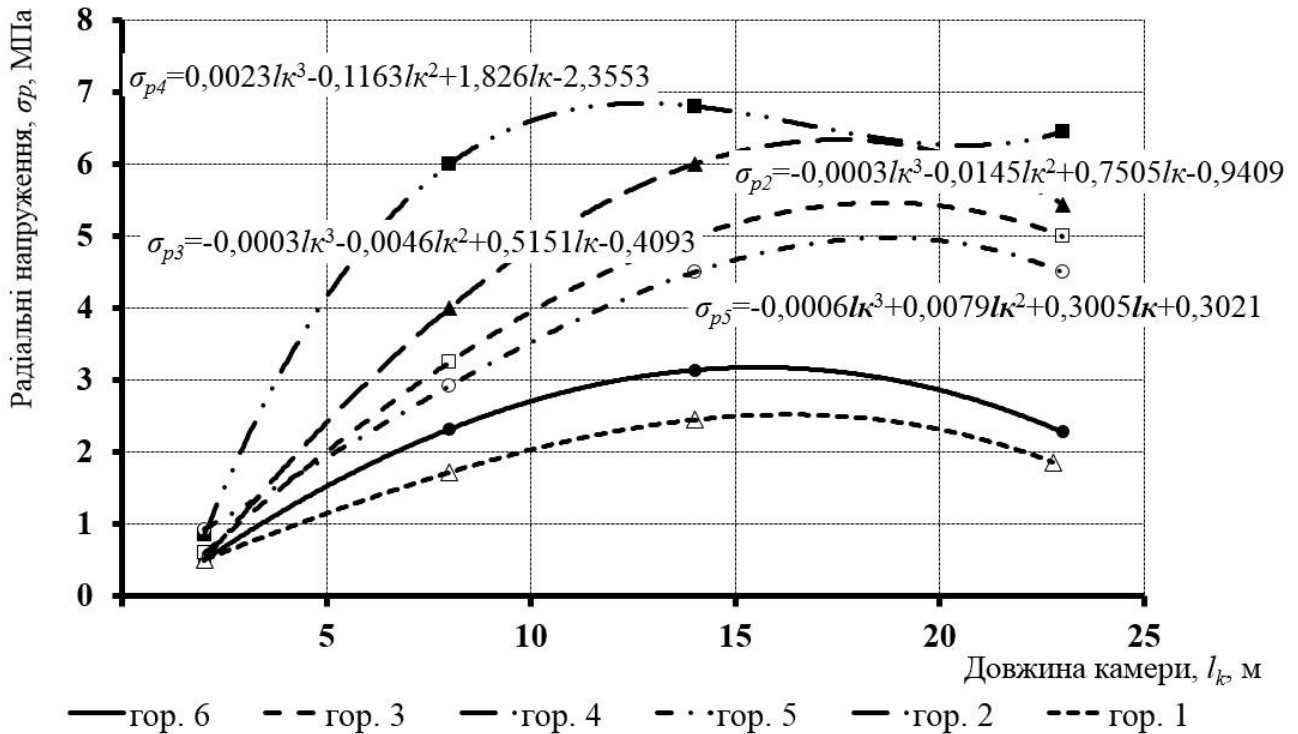


Рис. 4. Зміни радіальних напружень залежно від довжини камери  $l_k$  за результатами теоретичних досліджень для бурових горизонтів

п'ятого бурового горизонту моделі камери. Форма областей деформації – еліпсоїдна.

Моделювання дозволило дослідити процес змінення деформацій за глибиною закладення камери та розглянути у декількох позиціях, відтворюючи динаміку видовження очисної камери. Проведення лабораторних досліджень за різними стадіями відпрацювання запасів камери наведені на рис. 5.

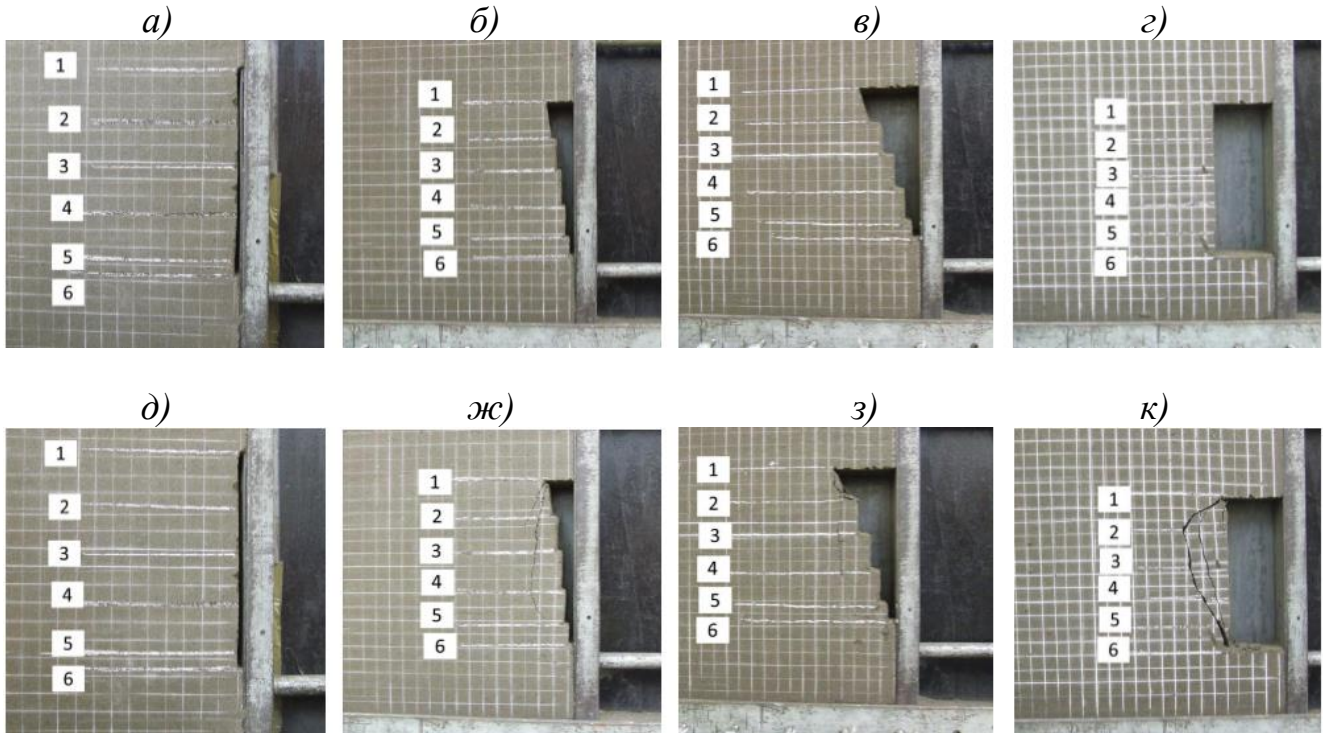


Рис. 5. Порушений масив (д – к) та підготовлений масив моделі (а – з) за стадіями відпрацювання запасів камери: а), д) – відрізна щілина; б), ж) – 30%; в), з) – 80%; г), к) – 100% від проектних розмірів камери відповідно

Результати виміру деформації масиву при збільшенні очисного простору показали, що динаміка руйнування масиву на моделі повторює розвиток радіальних напружень навколо очисних камер. Це відповідає аналогічним залежностям за теоретичними дослідженнями, але з більшими за модулем коефіцієнтами перед змінними. Рівняння деформацій за результатами лабораторних досліджень має вигляд:  $U_l = al_k^3 - bl_k^2 + cl_k - d$  при коефіцієнті достовірності не менш ніж  $R^2 = 0,97$ . За допомогою моделювання на еквівалентних матеріалах доведений вплив розмірів очисного простору на деформування масиву моделі. Розбіжність результатів величини деформації масиву при моделюванні динаміки розвитку очисної камери за простяганням, які одержали за допомогою лабораторного моделювання не перевищують 14% порівняно з результатами розрахунків.

Проведення промислових досліджень виконано відповідно до методу, описаного в другому розділі дисертаційної роботи. Побудова гістограми гранулометричного складу за час відпрацювання очисної камери з урахуванням витрат вибухових речовин (ВР) і засобів ініціювання на штреку вторинного подрібнення наведено на рис. 6.

Запаси камери в процесі видобування відпрацьовуються за стадіями, що ві-

дображені в технологічних етапах та показниках витрат на вторинне подрібнення:

– 1 етап (до 2 місяців) – проведення відрізного підняттевого не призводить до появи негабаритних шматків руди;

– 2 етап (2 – 5 місяців) – виконання робіт з розширення підняттевого у відрізну щілину. На цьому етапі присутнє переподрібнення руди та невисока витрата ВР на вторинне подрібнення. Це обумовлено тим, що відрізну щілину закладають в центрі очисної камери й відбійка руди реалізується з ефектом зустрічного подрібнення. Таким чином, досягається високий рівень подрібнення і навіть переподрібнення руди;

– 3 етап (5 – 8 місяців) – відпрацювання запасів камери обумовлено максимальними масовими вибухами (до 5 тонн ВР), до того ж ефект зустрічного подрібнення згасає через віддалення протилежних бортів камери. На цьому етапі спостерігається зростання витрат ВР на вторинне подрібнення;

– 4 етап (8 – 11 місяців) – відпрацювання запасів камери обумовлено найбільшою більшістю масових вибухів, при якому існує зниження витрат на вторинне подрібнення, що підтверджує перебування руди у напружено-деформованому стані;

– 5 етап (11 – 13 місяців) – залишковий випуск руди і підготовка камери до закладання твердіючими сумішами.

Щоб відстежити зміни в гранулометричному складі гірської маси, що випускається з блоків, більш якісно, до уваги беруть кількість вибухових речовин і засобів ініціювання зарядів, витрачених на вторинне подрібнення. З урахуванням цих даних встановлена переломна точка у складі фракцій руди, що випускається. Для більш високої вірогідності отриманої інформації були зібрані дані з 5-ти очисних камер. У такий спосіб зміна стійкості відслонення у камерах встановлювалося шляхом контролю розміру шматка руди, що випускається з камер, витрати ВР і засобів ініціювання на штреку вторинного подрібнення. В результаті цього була одержана усереднена гістограма гранулометричного складу рудної маси за час відпрацювання очисних камер.

За допомогою натурних досліджень була встановлена ступенева залежність зміни гранулометричного складу руди від довжини камери, що дозволяє одержати непрямі дані про НДС шарів руди, що відбивалась, й перевірити збіжність результатів з теоретичними та лабораторними дослідженнями. Вплив розмірів очи-

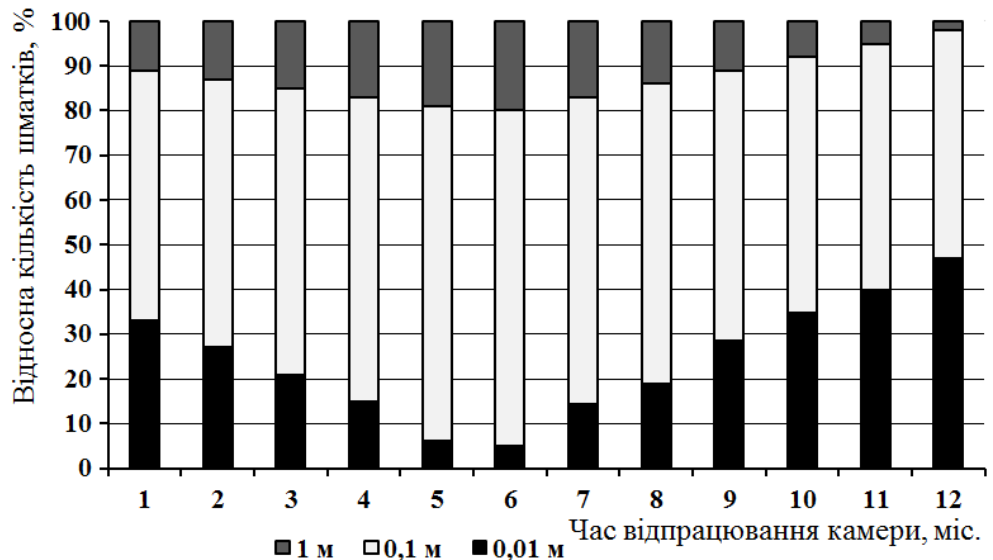


Рис. 6. Гістограма виходу гранулометричного складу уранової руди за час відпрацювання запасів камери

сних камер на вихід гранулометричного складу руди показує, що після того, як довжина камери сягає 45 м, відбувається зниження розмірів шматків руди понад 1 м у діаметрі. Отримані залежності зміни гранулометричного складу гірської маси, що випускається, від довжини камери. Загальний вигляд рівняння критичного розміру шматка (1 м і більше) за результатами промислових досліджень має вигляд:  $Q = al_k^3 - bl_k^2 + cl_k - d$  з коефіцієнтом достовірності не менш ніж  $R^2 = 0,93$ .

Методом маркшейдерських зйомок визначений рівень НДС відбиваних шарів руди. Результати промислових досліджень впливу очисного простору на витрати при вторинному подрібненні й вихід негабариту показали, що ці витрати інтенсивно знижуються у разі 60 – 75% відпрацювання запасів камери й продовжують зменшуватися до моменту досягнення очисної камерою проектних розмірів. Результатом промислових досліджень є отримання степеневі формули, яка описує зміну витрат на вторинне подрібнення залежно від довжини очисного простору камери.

**У четвертому розділі** «Аналіз стійкості масиву, що оточує очисну камеру» описано характер зміни параметрів руйнування масиву руди за рахунок його стійкості при різній довжині камери. Встановлені розміри й форма областей імовірних руйнувань навколо очисних камер. Виявлено, що руйнування в масиві залежать від місця знаходження відбиваних шарів у камері. Це дозволило встановити закономірності впливу очисного простору на величину руйнувань у масиві, і, як наслідок, раціоналізувати параметри БПР з урахуванням місцеположення бурових горизонтів у блоці. Встановлено, що вплив очисного простору при відпрацюванні 60% запасів камери сягає своїх максимальних значень на бурових горизонтах 2, 3 і 4, а для горизонту 5 – після 80% відпрацювання запасів. Рівняння залежності руйнувань має вигляд  $U = al_k^3 - bl_k^2 + cl_k - d$ , де коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$  і  $d$  змінюються відповідно до бурових горизонтів. За результатами теоретичних досліджень одержана формула, що описує руйнування масиву залежно від розмірів очисної камери для окремих бурових горизонтів. Досліджено якісну картину деформацій, які поширюються по всій потужності покладу, що свідчить про можливість оптимального

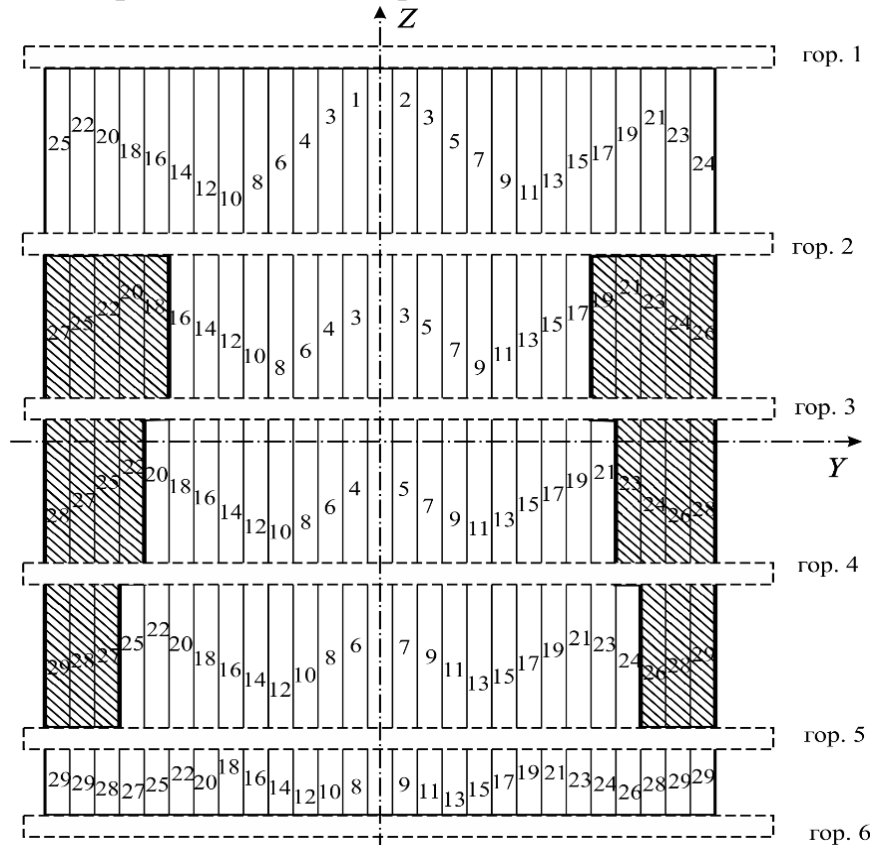


Рис. 7. Технологічна схема раціонального застосування уточнених параметрів руйнування уранового масиву, де штрихуванням відзначені шари руди, що відбиваються за один масовий вибух згідно нумерації

добору відстані між кінцями свердловин. При встановленні залежності між лінією найменшого опору  $W$  і відстанню між кінцями свердловин  $a$  був визначений уточнюючий коефіцієнт для показника зближення зарядів, який корелюється у межах 30% від базової лінії найменшого опору для конкретних горизонтів й окремих віял свердловин, і має вигляд  $a = (1,0 - 1,3) \cdot W \cdot m'$ .

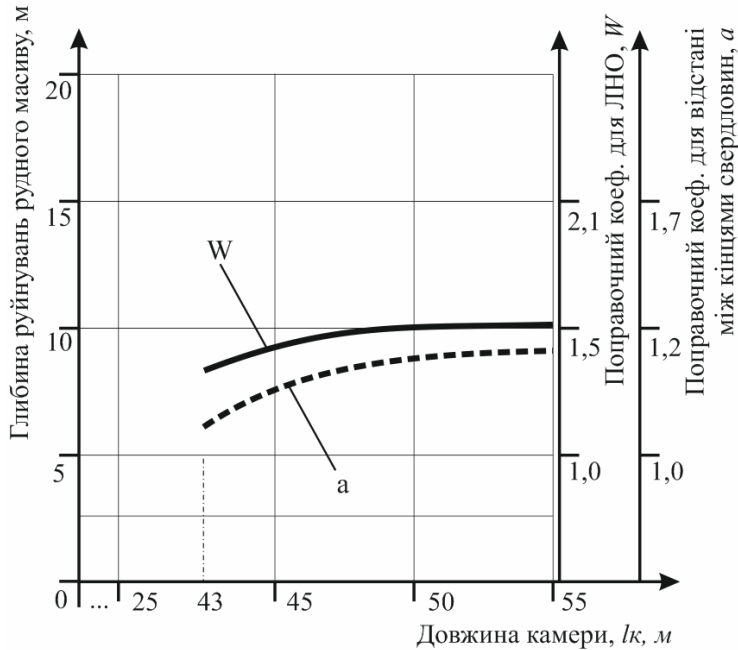


Рис. 8. Графічне визначення уточнюючих коефіцієнтів  $W$  і  $a$  від НДС масиву в окремо визначених шарах уранового масиву руди

Результатом промислових досліджень є отримана степенева залежність, що описує зміну витрат на вторинне подрібнення залежно від розмірів очисного простору камер, що має вигляд:  $A_m = -al_k^3 + bl_k^2 - cl_k + d$ .

Сформульовано методику удосконалення параметрів руйнування НДС масиву руди в певних областях очисної камери (рис. 8).

1. ЛНО зарядів з урахуванням НДС масиву описується рівнянням, м

$$W_\sigma = K_n \cdot C_o \cdot d \cdot \Delta \cdot \delta \cdot k_\sigma^w,$$

де  $k_\sigma^w$  – коефіцієнт впливу НДС на ЛНС, який враховує знеміцнення масиву руди за результатами теоретичних, лабораторних і промислових досліджень (рис. 8)

$$k_\sigma^w = -0,0067 \cdot l_k^3 + 0,015 \cdot l_k^2 + 0,1517 \cdot l_k + 1,09.$$

2. Відстань між кінцями свердловин з урахуванням НДС масиву, м

$$a_\sigma = W \cdot m \cdot k_\sigma^a,$$

де  $k_\sigma^a$  – коефіцієнт впливу НДС на відстань між кінцями свердловин, який враховує знеміцнення масиву руди за результатами теоретичних, лабораторних і промислових досліджень (рис. 8)

$$k_\sigma^a = -0,0033 \cdot l_k^3 + 0,02 \cdot l_k^2 + 0,0133 \cdot l_k + 1,02.$$

За результатами натурних досліджень процесу відбійки руди за період відпрацювання запасів очисних камер встановлено, що зміна гранулометричного складу гірської маси, що випускається, зміна витрат ВВ і засобів ініціювання на вторинне подрібнення залежить від напруженого стану масиву. Результати промислових досліджень впливу очисного простору на витрати вторинного подрібнення і вихід негабариту показали, що вони інтенсивно знижуються при 60 – 75% відпрацювання камерного запасу й зменшуються при досягненні камерою проектних розмірів.

Обґрунтовано раціональні параметри ЛНО зарядів і відстані між свердловинами при руйнуванні масиву уранових руд в умовах шахти «Смолінська» ДП «СхідГЗК», а саме збільшення ЛНО ( $W$ ) відносно базової у 1,3 – 1,5 рази та збільшення відстані між свердловинами у 1,2 – 1,4 рази для 3-го, 4-го та 5-го бурових горизонтів при відпрацюванні 78 % запасів камери. Виконано розрахунок економічної доцільності запропонованих технологічних рішень у порівнянні з базовим варіантом, що становить близько 590 тис. грн в розрахунку на одну очисну камеру з середніми розмірами 20×70×55 м (ш×в×д). Визначено закономірності поширення деформацій або руйнувань у масиві. Методика визначення параметрів руйнування уранового масиву запропонована та узгоджена для шахти «Смолінська» ДП «СхідГЗК» й видані рекомендації для уточнення параметрів БПР для умов ВАТ «Запорізький залізорудний комбінат» (ВАТ «ЗЗРК»). Отримано позитивне рішення від ДП «Український інститут промислової власності» 22.01.2013 р. про видачу патенту України на корисну модель за заявкою № U20121212133 «Спосіб видобування корисних копалин буропідричним методом» для умов відпрацювання уранових покладів України підземним способом.

## ВИСНОВКИ

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, вирішена актуальна наукова задача, що полягає у розробці раціональних параметрів руйнування урановмісного масиву з урахуванням напружено-деформованого стану, викликаного впливом очисних робіт у камерах. Що дозволить підвищити техніко-економічних показників розробки й безпеки буропідричних робіт при руйнуванні уранових руд підземним способом в умовах ДП «СхідГЗК».

Основні наукові й практичні результати обґрунтування раціонального способу відбійки експлуатаційних свердловин у зонах впливу очисного простору камери з урахуванням НДС масиву полягають у наступному:

1. Встановлено розміри й форму областей імовірних руйнувань навколо очисних камер. Виявлено, що руйнування масиву залежать від місця знаходження відбиваних шарів у блоці. Це дозволило визначити закономірності впливу очисного простору на величину руйнувань у масиві, на основі яких раціоналізувати параметри буропідричних робіт з урахуванням місцеположення бурових горизонтів щодо камери. Встановлено, що вплив очисного простору при відпрацюванні 60% запасів камери досягає своїх максимальних значень на 2, 3 і 4 бурових горизонтах щодо відкаточного, а для горизонту 5 – після 80% відпрацювання запасів.

2. Досліджено якісну картину деформацій, які поширюються по всій потужності покладу на базі методу лабораторного моделювання на еквівалентних матеріалах, що говорить про можливість оптимального добору відстані між кінцями свердловин. При встановленні залежності між ЛНО зарядів свердловин і відстанню між кінцями свердловин, був визначений поправочний коефіцієнт для показника зближення зарядів, який корелюється в межах 40% від базової ЛНО для конкретних горизонтів і окремих віял свердловин, і має вигляд  $a = (1,0 - 1,4) \cdot W \cdot m'$ .

3. За допомогою натурних досліджень процесу відбійки руди за період відпрацювання запасів досліджуваних очисних камер встановлено, що зміна грануло-

метричного складу гірської маси, що випускається з камер, зміна витрат ВР і засобів ініціювання на вторинне подрібнення залежить від напруженого стану масиву. Отримана кубічна залежність, що описує зміну витрат на вторинне подрібнення залежно від розмірів очисного простору камер.

4. Виконано економічний розрахунок доцільності розроблених технологічних рішень, які у порівнянні з базовим варіантом, більш ефективні на 15 – 20 %. Визначено закономірності поширення руйнувань в урановмісному масиві. Методика визначення ЛНО та відстані між свердловинами була запропонована та узгоджена для шахти «Смолінська» ДП «СхідГЗК» у 2012 році та для ВАТ «ЗЗРК» видані рекомендації для уточнення параметрів БПР.

**Основні положення і результати дисертації опубліковані в наступних роботах:**

1. Гірничорудна справа України в мережі Інтернет: довідник / О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко, Д.В. Мальцев., О.Б. Владико. – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 288 с.

2. Мальцев, Д.В. Крепление подготовительных выработок вблизи выработанного пространства железорудной шахты / О.Е. Хоменко, Д.В. Мальцев, М.Н. Кононенко // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 3. – С. 5 – 7.

3. Мальцев, Д.В. Технология очистных работ в областях охранных целиков, разгруженных выработанным пространством шахты / Хоменко О.Е., Мальцев Д.В., Яворский В.Н. // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 7. – С. 22 – 25.

4. Мальцев Д.В. К обоснованию рациональной технологии буровзрывных работ в условиях шахт ГП «ВостГОК» / О.Є. Хоменко, Д.В. Мальцев // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 10. – С. 3 – 6.

5. Мальцев, Д.В. Огляд світового ринку бурової та навантажувальної техніки для розробки рудних родовищ / О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко, Д.В. Мальцев // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 12. – С. 5 – 7.

6. Мальцев, Д.В. Лабораторные исследования влияния размеров очистных камер на состояние отбываемых слоев урановой руды / О.Є. Хоменко, Д.В. Мальцев // Науковий вісник НГУ. – 2013. – № 2. – С. 31 – 37.

7. Мальцев, Д.В. Ресурсосберегающая технология буровзрывных работ в условиях Ватутинского урановорудного месторождения / О.Е. Хоменко, Д.В. Мальцев // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 1. – С. 13 – 16.

8. Мальцев, Д.В. Усовершенствование технологии очистных работ во вторичных камерах в условиях Южно-Белозерского месторождения / М.Н. Кононенко, Д.В. Мальцев // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 5. – С. 29 – 31.

9. Мальцев, Д.В. Обґрунтування раціональних параметрів технології видобування залізних руд з охоронних ціликів / О.Є. Хоменко, Д.В. Мальцев, М.М. Кононенко // Форум гірників: міжн. наук.-техн. конф. – Дніпропетровськ: РВК НГУ. – 2005. – Т. 3. – С. 150 – 156.

10. Мальцев, Д.В. Пути ресурсосбережения при добыче железных и урановых руд в Украине / О.Е. Хоменко, А.Б. Владыко, Д.В. Мальцев, М.Н. Кононенко // Форум гірників: міжн. наук.-техн. конф. – Дніпропетровськ: РВК НГУ. – 2006.



– С. 122 – 124.

11. Мальцев, Д.В. Эффективность учета разгруженности массива в креплении нарезных выработок на шахтах ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» / О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко, Д.В. Мальцев // Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості: міжн. наук.-техн. конф.. – Кривий Ріг, 2006. – С. 27 – 31.

12. Мальцев, Д.В. Совершенствование технологии проведения наклонного вспомогательного квершлага по особо крепким породам / В.П. Лазуренко, Д.В. Мальцев, В.В. Корнющенко, М.Н. Кононенко // Школа підземної розробки: міжн. наук.-практ. конф. 17 – 22 вересня 2007 р. – С. 166 – 171.

13. Мальцев, Д.В. Изучение напряженно-деформированного состояния массива урановых руд термодинамическим методом / Д.В. Мальцев // Школа підземної розробки: міжнар. наук.-практ. конф. 13 – 19 вересня 2009 р. – С. 600 – 614.

14. Мальцев, Д.В. Использование современных Internet-технологий в популяризации горнорудного дела Украины / О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко, Д.В. Мальцев, А.Б. Владыко // Школа підземної розробки: міжнар. наук.-практ. конф. 13 – 19 вересня 2009 р. – С. 589 – 593.

15. Мальцев, Д.В. Ресурсосберегающая технология буровзрывных работ при очистной добычи на урановых рудниках Украины / Д.В. Мальцев // Школа підземної розробки: міжнар. наук.-практ. конф. 12 – 18 вересня 2010 р. – С. 290 – 295.

16. Мальцев, Д.В. Усовершенствование технологии очистных работ в первичных камерах в условиях Ватутинского месторождения / Д.В. Мальцев, И.А. Ковалевская // Проблемы недропользования: междунар. форум-конкурс молодых ученых. 20 – 22 апреля 2011 г. – Санкт-Петербург, 2011. – С. 91 – 93.

**Особистий внесок здобувача в роботи, опубліковані в співавторстві:** [1 – 14, 16] – добір інформації та написання розділів; [2 – 8] – виконання і аналіз результатів експериментів; [3, 4] – побудова діаграм та графіків; [16] – виконання розрахунків й отримання залежностей впливу розмірів первинної очисної камери робіт на параметри БПР.

## АНОТАЦІЯ

**Мальцев Д.В.** «Обґрунтування параметрів буропідривних робіт при руйнуванні масиву урановмісних руд». – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – Підземна розробка родовищ корисних копалин. Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2013.

Захищаються результати теоретичних і експериментальних досліджень з розробки нових параметрів буропідривних робіт при руйнуванні урановмісних руд при відпрацьовуванні родовища підземним способом в умовах Ватуїнського родовища шахти «Смолінська» ДП «СхідГЗК».

Обґрунтовані та описані методи досліджень для визначення НДС масиву для оточуючого масиву навколо очисних камер. Розроблена методика виконання

теоретичних досліджень за допомогою термодинамічного метода, для проведення фізичного дослідження – моделювання на еквівалентних матеріалах, для проведення промислових досліджень був обраний метод з використанням маркшейдерських зйомок.

З урахуванням зміни напружено-деформованого стану масиву, який вміщує камеру, отримані збільшуючі коефіцієнти для визначення ЛНО до 1,5 разів та відстані між свердловинами до 1,4 рази, для середньої частини камери при – 78% та більше від її проектних розмірів. Визначені закономірності поширення деформацій і руйнувань у масиві. Адекватність закономірностей підтверджена задовільною збіжністю результатів, отриманих термодинамічним методом, методом моделювання на еквівалентних матеріалах і методом маркшейдерських зйомок.

Запропоновані технологічні рішення з раціоналізації ведення буропідричних робіт і конкретні зміни конструктивних параметрів елементів розташування віяла свердловин у камері. Реальний економічний ефект склав 597 тис. грн на одну очисну камеру середніх розмірів.

Результати дослідження можуть бути використані не тільки на шахті «Смолинская» ДП «СхідГЗК», а також й на інших шахтах, які видобувають урановмісні руди, що залягають в альбітитах з коефіцієнтами міцності руд і порід в межах 12 – 18 за шкалою проф. М.М. Протод'яконова.

**Ключові слова:** параметри буропідричних робіт, напружено-деформований стан, технологія видобутку руди, параметри систем розробки, гранулометричний склад, гірничий тиск, фізичне моделювання, еквівалентні матеріали, теоретичне моделювання.

## АННОТАЦІЯ

**Мальцев Д.В.** «Обоснование параметров буровзрывных работ при разрушении массива ураносодержащих руд». – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2013.

Защищаются результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке новых параметров технологии разрушения ураносодержащих руд при отработке месторождения подземным способом в условиях Ватутинского месторождения шахты «Смолинская», ГП «ВостГОК».

Применена методика и расчетная схема аналитического моделирования термодинамических процессов в рудном массиве вокруг очистного пространства камеры. Для проведения физического исследования был выбран метод моделирования на эквивалентных материалах, в котором состав смеси по своим свойствам эквивалентен альбититам. Для проведения промышленных исследований был выбран и подробно описан метод моделирования с использованием маркшейдерских съемок.

В диссертации представлены результаты теоретического исследования, которые показывают увеличение радиальных напряжений вокруг очистной камеры

в процессе ее отработки и появление вероятных зон разрушения в рудном массиве. Итогом лабораторных исследований являются конкретные величины деформаций в массиве в зависимости от длины камеры, при постоянной глубине отработки запасов (для глубин 460 – 550 м). В лабораторных условиях доказано, что области разрушения массива модели развиваются не равномерно по всей высоте камеры, а сконцентрированы в средней ее части и отчетливо проявляются от 50 % проектных размеров моделируемой камеры и описываются степенной зависимостью. Полученные шахтные данные промышленных исследований гранулометрического состава выпускаемой руды из блока и затрат ВВ и средств инициирования на штреке вторичного дробления позволили установить, что при достижении камеры 80 – 90 % от проектных ее размеров значительно снижается гранулометрический состав (процентная доля среднего размера куса руды более 1 м в диаметре) за счет проявления НДС в массиве.

Выявлено, что с увеличением длины камеры увеличиваются напряжения и деформации в массиве вокруг очистной камеры, что позволяет применять рациональные параметры БВР при разрушении ураносодержащего рудного массива. Определен коэффициент, уточняющий линию наименьшего сопротивления зарядов в диапазоне 1,3 – 1,5 от базовой при длине камеры 43 – 55 м для 2-го, 3-го и 4-го буровых горизонтов. Определен коэффициент, уточняющий расстояние между концами скважин в диапазоне 1,2 – 1,4 от базовой при длине камеры 43 – 55 м для 2-го, 3-го и 4-го буровых горизонтов. Получены закономерности распространения деформаций и разрушений в массиве от длины камеры. Адекватность закономерностей подтверждена удовлетворительной сходимостью результатов всех трех исследований; полученных термодинамическим методом, методом моделирования на эквивалентных материалах и методом маркшейдерских съемок. Расхождение теоретических и лабораторных значений разрушения контура очистных выработок составило 10,4 – 13,7% и погрешность до 14,2% при промышленных исследованиях в сравнении с теоретическими и лабораторными исследованиями.

Предложены технологические решения по рационализации ведения буровзрывных работ и конкретные изменения конструктивных параметров элементов расположения веера эксплуатационных скважин в камере. Реальный экономический эффект составил 597 тис. грн в пересчете на одну усредненную очистную камеру с размерами 20×70×55 м (ш×в×д).

Результаты исследования могут быть использованы не только на шахте «Смолинская» ГП «ВостГОК», но и на шахтах, которые добывают ураносодержащие руды залегаемые в альбититах с неявным разделением между рудами и породами лежачего и висячего боков и коэффициентом крепости руд и пород в диапазоне 12 – 18 по шкале проф. М.М. Протодьяконова.

**Ключевые слова:** параметры буровзрывных работ, напряженно-деформированное состояние, технология добычи руды, параметры систем разработки, гранулометрический состав, горное давление, физическое моделирование, эквивалентные материалы, теоретическое моделирование.

## ANNOTATION

Dmitry Maltsev “Blast-hole drilling parameters justification during destruction of massif that contains uranium ore” – The manuscript.

Dissertation of Candidate of technical sciences on specialty 05.15.02 – Underground mining of mineral deposits. State higher educational establishment “National Mining University”, Dnipropetrovs’k, 2013.

The results of theoretical and experimental studies of development new parameters of blast-hole drilling during destruction of massif which contains uranium ore during mining out the deposits by underground mining in the field Vatutinske on the mine “Smolinska” SE “Eastern mining dressing plant” (SE “EMDP”) are defended.

Research methods had been justified and described for determining the strain-stress state of the massif for surrounding massif around face chambers. Methodology are developed to perform theoretical studies using thermodynamic method for conducting physical research - modeling on equivalent materials. The method using surveying for the industrial researches had been chosen.

Take into account the changes in the stress-strain state of the massif that contains the face chamber, increasing coefficients are obtained for determining line of minimal resistance to 1.5 times and the distance between the holes to 1.4 times the middle part of the chamber in 78% or more than project dimensions of face chamber. Patterns of deformation law spreading and destructions in the massif had been identified. Adequacy patterns are confirmed by satisfactory convergence of the results obtained by thermodynamic method for modeling on equivalent materials and methods of surveying.

Technological solutions for rationalization of blast-hole drilling and concrete changes in the design parameters of the elements of location network holes in the chamber had been proposed. The real economic effect had amounted to 597 thousand UAH for one face chamber of medium size.

The results of researches can be used not only in the mine “Smolinskaya” SE “EMDP” and in other mines that obtain uranium ore, lying in albitites with coefficients strength of ores and rocks within 12 – 18 based on a scale of prof. MM Protodyakonova.

**Keywords:** blast-hole drilling parameters, the stress-strain state, ore extraction technology, mining methods parameters, grain-size structure, rock pressure, physical modeling, equivalent materials, theoretical modeling.

**МАЛЬЦЕВ ДМИТРО ВАЛЕРІЙОВИЧ**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ  
ПРИ РУЙНУВАННІ МАСИВУ УРАНОВМІСНИХ РУД**

(Автореферат)

Підп. до друку 20.03.2013. Формат 60×90/16.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.  
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. №

Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»  
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19