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

ХОМЕНКО ОЛЕГ ЄВГЕНОВИЧ

УДК 622.831.24.001

ГЕОЕНЕРГЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ РУДНИХ РОДОВИЩ

05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант:

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

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, директор Інституту фізики гірничих процесів (м. Дніпропетровськ) Національної академії наук України	**ГРІНЬОВ Володимир Герасимович**
доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу підземних гірничих робіт та геомеханіки Науково-дослідного гірничорудного інституту Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України	**ЦАРИКОВСЬКИЙ Володимир Валентинович**
доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу механіки гірських порід Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова (м. Дніпропетровськ) Національної академії наук України	**ПАЛАМАРЧУК Тетяна Андріївна**

Захист відбудеться 25 грудня 2015 р. о 12:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. (0562) 47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. (0562) 47-24-11).

Автореферат розісланий 25 листопада 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук М.В. Петльований

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Глобалізація світової економіки висуває жорсткі вимоги, які передбачають збереження енергії в системі виробництва і споживання, що оптимізує використання сировинних ресурсів планети за принципами міжнародної інтеграції. За таких умов прибуток держави визначається ефективністю й обсягами видобутку корисних копалин. Так розвідані запаси рудних родовищ ставлять Україну на лідируючі позиції у світі, проте частки у світовому обсязі з видобутку залізних, уранових та марганцевих руд не перевищують 6%. Існуючий низький рівень технологій розробки рудних родовищ суттєво знижує конкурентоспроможність вітчизняної гірничодобувної промисловості на внутрішніх та зовнішніх ринках.

Розробкою технологій підземного видобування корисних копалин у напружених породах активно займались науковці з України, Росії, Німеччини, Австрії, Швейцарії, Франції, Англії, США, Канади, ЮАР та інших країн світу. У переважній більшості дослідники враховували зміни напруженості масиву за ступенем впливу на параметри кріплення виробок і систем розробки. Прикладний формат більшості наукових розробок, які ґрунтувалися на принципі протидії зростаючій енергії гірського тиску, ставив за мету лише мінімізувати витрати на видобування. Такий підхід унеможливив розкриття фізичної сутності явища зональної дезінтеграції гірських порід, яке виявляється навколо всіх підземних виробок, що дещо призупинило розвиток фундаментальних теорій про гірський тиск. За кілька останніх десятиліть це стало значною перешкодою на шляху створення нових гіпотез, теорій чи методів, які б описували чи моделювали зональне структурування масиву навколо гірничих виробок.

За цей час глибини розробки вітчизняних родовищ досягли позначки у 1500 м, що призвело до значного погіршення геодинамічних умов видобування. Пружна потенціальна енергія Українського кристалічного щита почала виявлятися не тільки у вигляді лущень і відколів, а й у вигляді стрілянь, гірських ударів та землетрусів різної амплітуди. Це призвело до втрати гірничих виробок і запасів корисних копалин, пошкодження об’єктів на поверхні та у надрах і, на жаль, до травмування і загибелі людей. Тому суттєве підвищення ефективності й обсягів видобутку рудної сировини неможливе без розкриття сутності зонального структурування масиву навколо виробок та опису процесів і закономірностей цього феноменального явища, обґрунтування принципів керування природними чинниками та їх використання в геоенергетичних технологіях розробки родовищ довгі роки залишалося невирішеною *науково-практичною проблемою.*

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до галузевої програми «Уран України» Міністерства енергетики та вугільної промисловості України на 2006 – 2030 рр. за темою «Перегляд державної цільової економічної програми «Ядерне паливо України» (№ ДР 28331311000). Також дисертація пов'язана з координаційними планами Міністерства освіти і науки України за фундаментальним напрямом «Гірничі науки» на 2000 – 2020 рр., з планами держбюджетних робіт «Наукові основи геомеханіки кріплення слабких порід навколо гірничих виробок» (№ ДР

0105U000500), «Наукові принципи імітаційного моделювання інтегрованих систем технічного планування інтенсифікації гірничих робіт» (№ ДР 0107U000383), «Наукові основи управління просторовою системою «масив – кріплення» з урахуванням граничного і позамежного станів та уніфікованих способів контролю газових сумішей» (№ ДР 0109U002815), «Фундаментальні основи видобутку, обробки та оцінки каменесамоцвітної сировини України» (№ ДР 0111U002811), «Обґрунтування комплексу геотехнологічних модулів з використанням природно-техногенного ресурсу родовищ корисних копалин України» (№ ДР 0115U002300).

Мета і завдання дослідження. *Метою дослідження* є створення геоенергетичних основ розробки рудних родовищ з обґрунтування теоретико-методологічних засад та експериментально-промислових досліджень принципів, закономірностей і параметрів використання геоенергії.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення таких *завдань дослідження*:

1. Встановити показники зонального структурування масиву навколо гірничих виробок за допомогою промислових, лабораторних та теоретичних методів дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід.

2. Дослідити процеси впливу ентропії на обмін енергією та розвиток деформацій при формуванні енергетичних потоків у елементарному об’ємі масиву, що непорушений виробками.

3. Дослідити вплив процесів і закономірностей формування запобіжних капсул навколо гірничих виробок на форми перетворення енергії порушеного масиву в роботу деформування гірських порід.

4. Розробити геоенергетичні підходи до проектування трас підготовчих і нарізних виробок та обґрунтувати параметри кріплення в статичних умовах формування запобіжних капсул.

5. Обґрунтувати технологічні параметри проведення буропідривних і очисних робіт в умовах динамічного деформування масиву в енергетичних зонах запобіжних капсул.

6. Розробити технологічні схеми видобування супутніх корисних копалин у низькоенергетичних підзонах запобіжних капсул, сформованих у шахтних полях з порушеним розподілом енергії масиву.

7. Оцінити економічну ефективність розроблених геоенергетичних технологій і реалізувати промислове впровадження в технічні й організаційні проекти розробки вітчизняних і зарубіжних рудних родовищ.

Ідея роботи полягає у розкритті фізичної сутності феномену зонального капсулювання гірничих виробок та використанні обґрунтованих геоенергетичних принципів у технологіях розробки рудних родовищ.

Об’єкт дослідження – процеси і закономірності формування потоків енергії та розвиток деформацій у непорушеному масиві гірських порід.

Предмет дослідження – закономірності та параметри формування зональних капсул навколо гірничих виробок при розробці рудних родовищ.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань використано системний підхід, який містить аналіз результатів науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт за видами виявлення енергії гірського тиску,

способах підвищення стійкості виробок, теоріях гірського тиску навколо виробок і енергетичних процесах у гірських породах, а також натурні, фізичні й аналітичні експерименти. Промислові випробування виконувалися за допомогою методів спостереження й оцінювання, маркшейдерських зйомок, розвантаження масиву, деформації свердловин і глибинних реперів; лабораторні – за допомогою моделювання на еквівалентних, оптико-поляризаційних і електропровідних матеріалах; теоретичні досліди – з використанням методу скінчених елементів, термодинамічного, удосконаленого ентропійного та розробленого енергетичного методів.

Достовірність отриманих результатів і висновків підтверджується застосуванням апробованих методів досліджень, задовільною достовірністю результатів натурних (84%), фізичних (89%) і аналітичних (88%) експериментів та збіжністю промислових і лабораторних (94%), лабораторних і теоретичних (98%) досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Уперше:

– розроблено енергетичну теорію дослідження параметрів і закономірностей зонального капсулювання гірничих виробок: форми, розмірів, кількості й умов утворення енергетичних зон та меж можливого руйнування масиву;

– встановлено степеневі залежності зміни розмірів суміжних енергетичних зон, співвідношення яких є константою від габаритів і форми, глибини закладання і фізичних властивостей масиву, що вміщує виробку.

2. Удосконалено термодинамічну теорію стану непорушеного виробками масиву гірських порід урахуванням процесів перерозподілу енергетичних потоків і обміном ентропією в елементарній системі мінеральної речовини та виділенням в окремий метод дослідження – ентропійний.

3. Дістала подальший розвиток синусоїдно-згасаюча залежність автохвильових коливань напружень у порушеному виробками масиві від градієнтів щільності, температури, газо- і водонасиченості гірських порід.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Термодинамічний баланс у гірських породах Українського кристалічного щита формується урівноваженням вертикальних і горизонтальних енергетичних потоків, які при збільшенні глибини розробки підвищують за степеневими залежностями компоненти тензора напружень, відхиляючи їх від гідростатичних.

2. Підземна гірнича виробка викликає в масиві синусоїдно-згасаючі коливання градієнтів напружень, щільності, температури, газо- і водонасиченості, капсулюючись системою кільцевих енергетичних зон, кількість яких зростає поліноміально зі збільшенням глибини та зниженням міцності порід.

3. Технології розкриття, підготовки та розробки рудних родовищ, що ґрунтуються на використанні геоенергетичних принципів сприяння, усунення та перенесення, дозволяють використовувати за параболо-гіперболічною залежністю до 86% енергії гірського тиску.

Наукове значення роботи полягає у систематизації картини явищ, процесів та закономірностей формування капсул у масиві навколо гірничих виробок з визначенням форми, розмірів та кількості енергетичних зон, синусоїдно-згасаючих

напружень і кільцевих підзон деформації за рахунок комплексного урахування геоенергетичних чинників, що дозволяє цілеспрямовано використовувати енергію гірського тиску в технологіях підземної розробки рудних родовищ.

Практичне значення роботи:

1. Удосконалено класифікацію методів дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід за рахунок впровадження групи синергетичних методів дослідження: ентропійного, термодинамічного й енергетичного.

2. Розроблено програмне забезпечення для ентропійного, термодинамічного та енергетичного методів дослідження, а також для методики визначення економічної ефективності розроблених технологій.

3. Обґрунтовано технології розкриття, підготовки та розробки запасів руд на вітчизняних та закордонних родовищах з використанням до 86% енергії гірського тиску з економією ресурсів до 37%.

4. Систематизовано способи керування виробленим простором шахт Криворізького залізорудного басейну при відпрацюванні покладів рудних і супутніх корисних копалин.

5. Розроблено класифікацію родовищ України, що містять каменесамоцвітну сировину, на базі якої упорядковано класифікацію систем розробки за ознакою в класі – енергетичний стан масиву на момент розробки.

6. Розроблено принципово нові способи видобування корисних копалин, що зареєстровані в Україні як винаходи №№ 90544, 91709, 101217, 108639.

7. Використано результати досліджень у навчальному процесі через видання підручника, 2 довідкових і 2 навчальних посібників, а також 10-ти навчально-методичних рекомендацій.

Впровадження результатів досліджень:

1. Технології підготовчих робіт:

– тимчасове кріплення площини вибою підготовчих виробок впроваджено на шахті № 9-10 ПАТ «Марганецький ГЗК» (м. Марганець, рекомендації від 29.05.13 р.);

– кріплення підповерхових бурових ортів впроваджено на шахті «Прохіднича» ПрАТ «Запорізький ЗРК» (м. Дніпрорудне, рекомендації від 28.12.09 р.);

– місця закладання підповерхових бурових штреків впроваджено на шахтах «Батьківщина», «Жовтнева», «Гвардійська» та «Ім. Леніна» ПАТ «Криворізький ЗРК» (м. Кривий Ріг, рекомендації від 14.10.12 р.);

– форми поперечного перерізу і траси закладання поверхових та підповерхових польових штреків впроваджено на шахті «Прохіднича» ПрАТ «Запорізький ЗРК» (м. Дніпрорудне, рекомендації від 13.12.11 р.).

2. Технології очисних робіт:

– напрями розміщення експлуатаційних свердловин впроваджено на шахті «Смолінська» ДП «Східний ГЗК» (м. Смоліно, рекомендації від 21.11.11 р.);

– свердловинний спосіб розробки родовищ «Харааг» і «Хайрхан» впроваджено у СП «Гурван-Сайхан» (м. Улан-Батор, Монголія, рекомендації від 12.08.13 р.);

– комбінований спосіб розробки запасів на рудниках «Дорнод» і «Гурванбулаг» впроваджено у ДУЕК «Мон-Атом» (м. Улан-Батор, Монголія, рекомендації від 10.09.13 р. та 25.10.13 р. відповідно).

3. Економічні та навчальні програми:

– державна цільова економічна програма «Ядерне паливо України» реалізована в ДК «Ядерне паливо» через Державну екологічну академію післядипломної освіти та управління (м. Київ, договір від 02.01.14 р.);

– концепція підготовки фахівців для урано-енергетичного комплексу Монголії впроваджена в ДУЕК «Мон-Атом» через Монгольський університет науки і технології (м. Улан-Батор, концепція від 16.07.13 р.);

– навчальні програми підготовки бакалаврів та магістрів з дисциплін «Гірничі машини для розробки рудних родовищ», «Процеси при підземній розробці рудних родовищ», «Технологія підземної розробки рудних родовищ» і «Проектування рудних шахт» впроваджено в Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ, 2006 – 2015 рр.).

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні наукової проблеми, постановці мети і формулюванні завдань дослідження, розробці теорій, методів та методик дослідження, програмного забезпечення, проведенні натурних експериментів, фізичного й аналітичного моделювання, обробці й оцінюванні отриманих результатів, формулюванні наукових положень, апробації на наукових конференціях, технічних нарадах і спеціалізованих сайтах у мережі Інтернет, а також впровадженні технологічних рішень у технічні й організаційні проекти розробки вітчизняних і зарубіжних родовищ.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на наукових конференціях: «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості: досягнення, проблеми і перспективи розвитку» (Кривий Ріг, 2004 – 2009), «Проблеми аерології гірничодобувних підприємств» (Дніпропетровськ, 2004), «Впровадження галузевих стандартів – запорука якісної підготовки фахівців гірничо-металургійного профілю» (Кривий Ріг, 2005), «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2005 – 2012), «Школа підземної розробки» (Ялта – Бердянськ, 2007 – 2015), «Человек и космос» (Дніпропетровськ, 2008), «Нүүрсний Монгол» (Улаанбаатар, 2011), «Геомеханічні аспекти та екологічні наслідки відпрацювання рудних покладів» (Кривий Ріг, 2012), «Кадрове забезпечення гірничо-металургійного комплексу України» (Дніпропетровськ, 2011), «The international Conference on industrial convergence technology» (Asan, Korea, 2014) і технічних нарадах ДК «Ядерне паливо» (Київ, 2009 – 2014), ДУЕК «Мон-Атом» (Улан-Батор, 2011 – 2013), ДП «Східний ГЗК» (Жовті Води, 2005 – 2014), ПАТ «Криворізький ЗРК» (Кривий Ріг, 2004 – 2013), ПрАТ «Запорізький ЗРК» (Дніпрорудне, 2009 – 2015).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 80 друкованих праць, з них: 3 монографії, 36 статей у спеціалізованих наукових виданнях України і 12 у зарубіжних виданнях, 7 робіт входять до переліку наукометричної бази Scopus, 4 патенти на винаходи, 26 статей і тез доповідей у матеріалах міжнародних та українських конференцій, 3 довідники (з них 2 видані за кордоном). Без співавторів опубліковано 12 робіт, з них: монографія, 10 статей, патент.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків; містить 50 рисунків, 47 таблиць, список використаних джерел із 252 найменувань на 25 сторінках і 2 додатків на 16 сторінках. Загальний обсяг роботи 338 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, розкрито зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами; поставлено мету і сформульовано завдання дослідження; описано ідею, об'єкт, предмет і методи дослідження; подано наукові положення, що виносяться на захист; зазначено наукову новизну отриманих результатів, їх обґрунтованість і достовірність, наукове і практичне значення роботи; розкрито реалізацію результатів роботи, а також особистий внесок автора, висвітлено апробацію роботи та публікації за напрямами досліджень.

Розділ 1. Аналіз об'єкта, предмета і наукової проблеми, постановка мети і формулювання завдань дослідження, присвячений оцінюванню об'єкта, предмета дослідження і рівня вивчення наукової проблеми, за якими поставлена мета і сформульовані завдання дослідження. Для оцінювання об'єкта дослідження виконано аналіз гірничотехнічних і геодинамічних умов розробки вітчизняних рудних родовищ у ПАТ «Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат», ДП «Східний гірничо-збагачувальний комбінат», ТОВ «Схід-Руда», ПрАТ «Запорізький залізорудний комбінат», ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат», ПАТ «ЄВРАЗ Суха Балка», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». У результаті аналізу встановлено, що відсоток України у світових запасах заліза (20%), марганцю (42%) і урану (4%) виводять її відповідно на 1, 2 і 11 місця в міжнародному рейтингу за цими корисними копалинами. Треба зазначити, що такі запаси стратегічних корисних копалин зумовлюють промисловий та енергетичний суверенітет країни в подальшій перспективі її розвитку. Однак частки у світовому обсязі з видобутку займають значно нижчі позиції, зокрема заліза (5%), марганцю (6%), урану (1%) і визначають, відповідно, 6, 8 і 11 місця, які безпосередньо пов'язані з рівнем технологій, що використовують під час розробки рудних родовищ.

Гірничорудні підприємства України забезпечені достатніми запасами, що детально розвідані до глибини 2000 м (прогнозно – до 3000 м), а існуючий рівень гірничого обладнання дозволяє їх видобувати. Проте зі збільшенням глибини гірничих робіт геодинамічні вияви гірського тиску на рудниках України вказують на високу енергонасиченість масиву за коефіцієнтом динамічності процесу деформування порід. Значення коефіцієнта, що наближаються до одиниці, вказують на критичну забезпеченість масиву Українського кристалічного щита пружною потенціальною енергією, яка при веденні гірничих робіт у інтервалі глибин 1600 – 3000 м відповідатиме значенням у $2{,}0\cdot10^{3} – 6{,}3\cdot10^{10}$ Дж. За відомими в світі оцінками такий об'єм пружної потенціальної енергії виявлятиметься у вигляді поштовхів і стрілянь, гірських ударів різної сили та різноманітних землетрусів, що суттєво перешкоджатиме розробці рудних родовищ.

Для оцінювання прикладної компоненти предмета дослідження проведено аналіз вітчизняних наукових розробок за способами підтримання гірничих виробок, виконаних А.Ф. Булатом, А.М. Зоріним, В.В. Виноградовим, Т.А. Паламарчук в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України; М.М. Протодьяконовим, А.М. Динником, О.В. Савостьяновим, С.Г. Борисенком, А.І. Зільберманом, В.І. Бондаренком, П.І. Пономаренком, Г.А. Симановичем, Л.Н. Ширіним, В.І. Бузилом, І.А. Ковалевською, В.Я. Кириченком, Ю.М. Халимендиком у Державному ВНЗ «Національний гірничий університет»; Г.М. Малаховим, Ю.П. Капленком, В.Ф. Лавриненком, Б.М. Андрєєвим, Є.І. Логачовим, В.О. Калініченком у Державному ВНЗ «Криворізький національний університет»; А.Г. Катковим, І.С. Зіцером, В.С. Нігматуллліним, В.П. Волощенком, В.В. Цариковським, Г.К. Хижняком, А.П. Григор'євим, В.Д. Запорожцем, В.І. Никонцем у Науково-дослідному гірничорудному інституті Державного ВНЗ «КНУ»; Ю.Й. Кошиком, В.І. Голиком, В.І. Ляшенком у ДП «УкрНДПРІпромтехнології» та багатьма іншими.

У результаті аналізу вітчизняних розробок за способами підтримання гірничих виробок установлено, що сучасні уявлення науковців і виробничників, на яких базується більшість українських технологій кріплення і підтримання гірничих виробок ґрунтуються на двох основних принципах. Перший – протидія кріплення руйнуванню масиву за рахунок зміни видів, параметрів установки й умов експлуатації кріплення з забезпеченням ефективного віджимання кріпильної системи (53%). Другий – урівноваження стійкості масиву з параметрами гірничих виробок шляхом зміни розмірів та форми виробок з досягненням максимальної стійкості контурів відслонень (38%). Якщо принцип протидії в основному використовується для підтримання підготовчих виробок, то принцип урівноваження – для підвищення стійкості очисних камер. Обидва принципи не дозволяють ефективно використовувати енергію гірського тиску, а спрямовані на зниження витрат на кріплення та підтримання виробок за рахунок раціоналізації технологічних параметрів.

Виконаний аналіз також виявив два нових принципи, що дозволяють використовувати енергію гірського тиску. Це принцип сприяння, закладений Ю.П. Капленком у технологіях відбивання шарів руди, що знаходяться в межах інтенсивного деформування, і Б.М. Андрєєвим – у зонах розвантаження напружень, а також принцип усунення, який використав В.С. Нігматуллін, шляхом пошуку раціональних місць закладання підготовчих виробок відносно очисних камер. Отримані результати дозволяють оцінити існуючі та показують напрями розвитку нових геоенергетичних принципів розробки рудних родовищ.

Визначення фундаментальної компоненти предмета дослідження ґрунтувалося на класифікації теорій гірського тиску навколо виробок, які поєднані у три класи: сил, деформацій і стану масиву. Теорії сил містять групи гіпотез стану зводу, балок і плит. Теорії деформацій включають групи гіпотез руйнування, релаксації, повзучості порушеного масиву, а групи гіпотез стану – термодинамічні характеристики масиву. Розробкою теорій сил займалися П. Шульц, В. Ріттер, Ф. Енгессер, В. Тромпетер і Г. Манцель (Німеччина),

А. Гейм (Швейцарія), Дж. Талобр і Н. Фейоль (Франція), О. Коммерель (Австрія). Прихильниками теорій деформацій є А. Леон (Австрія), М.М. Протодьяконов, А.Н. Динник, А.В. Савостьянов (Україна), Ф. Левінсон-Лесінг, А. Зайцев, Дж. Спелдінг, Р. Феннер, В.Д. Слесарєв, Р. Квапіл (Росія), С.Г. Авершин (Киргизія), Н. Хаст (Англія). Дослідження стану масиву за термодинамічною теорією виконані В.Ф. Лавриненком (Україна), який розкрив напрями розвитку теоретичних уявлень за термодинамічними, ентропійними і енергетичними принципами.

Аналіз наукових результатів і основних недоліків класифікованих теорій показав, що зональний стан масиву був виявлений ще 1899 року В. Тромпетером. Далі описувалися лише окремі процеси цього явища. Це призвело до того, що багато теорій не узгоджуються між собою, а деякі з них суперечать законам фізики. Класифікація дає підстави стверджувати, що результати виконаних досліджень не дозволяють визначити кількість, форму, розміри зон розвантажень-концентрації напружень та меж деформації масиву. Жодна з теорій, за винятком термодинамічної, не дає чіткої відповіді про початковий непорушений і, відповідно, порушений виробками напружений стан масиву, і не висвітлює певного підходу до їх описання. Про врахування закономірностей енергетичного обміну в прилеглому до виробки масиві зі збільшенням глибини розробки не йдеться взагалі. Це свідчить про необхідність розвитку сучасних теоретичних уявлень з метою розкриття фізичної сутності явища, яке описує зональний стан масиву, що дозволило б вирішити проблему використання енергії гірського тиску при кріпленні та підтриманні гірничих виробок.

Для оцінювання рівня означеної наукової проблеми був виконаний аналіз явища зональної дезінтеграції гірських порід навколо виробок, що вперше було відкрито в золоторудній шахті Південної Африки (1972) і далі – у СРСР (1978), Росії (1992), Україні (2002, 2006) тощо. Різні аспекти явища активно вивчали дослідники з Казахстану, Польщі, Франції, Канади, США, Японії та інших країн світу, що підтверджує світовий рівень наукової проблеми. Виконані дослідження відкрили розуміння щодо формування навколо гірничих виробок самоорганізованих кільцевих структур. Однак, зазначене явище сьогодні визнане дослідниками як однією з найскладніших наукових проблем, що не піддаються опису на базі сучасних уявлень фізики. Встановлено, що для описання цього фізичного явища потрібне залучення апарату синергетики з виконанням аналізу типів дослідницького мислення. Ще на стадії аналізу наукової проблеми, використовуючи синергетичний методологічний пошук, нам вдалося відкрити сутність досліджуваного феномену. Це формування навколо підземної виробки запобіжної капсули, яка складається із системи кільцевих енергетичних зон.

У результаті аналізу об’єкта і предмета дослідження, а також наукової проблеми була поставлена мета і сформульовані завдання дисертаційної роботи, для вирішення яких у логічній схемі дослідження виділено 10 взаємопов’язаних блоків. Основні 7 блоків відповідають завданням, що вирішуються, а інші стосуються підготовки вхідних даних, перевірці достовірності та збіжності результатів і ефективності використання енергії масиву в технологічних рішеннях.

Розділ 2. Промислові, лабораторні та теоретичні дослідження зонального структурування масиву навколо гірничих виробок, присвячений вирішенню першого наукового завдання. Аналіз засобів визначення стійкості гірських порід з використанням натурних, фізичних і аналітичних методів дозволив удосконалити класифікацію досліджень з уведення синергетичної групи, яка включала ентропійні, термодинамічні й енергетичні методи (підходи), що у подальшому дозволяє дослідити процеси енергетичного обміну в гірській породі та закономірні перетворення одних видів енергії в інші. З використанням термодинамічної теорії (В.Ф. Лавриненко), визначені фізичні властивості гірських порід в умовах їх природного залягання, а також сформовано масив вихідних даних для моделювання процесів формування капсул навколо гірничих виробок ентропійним, термодинамічним і енергетичним методами.

Дослідження процесів зонального руйнування масиву виконано за допомогою натурних експериментів, що проводилися на чотирьох шахтах з використанням методів спостережень і оцінювань, маркшейдерських зйомок, розвантаження масиву, деформації свердловин і глибинних реперів. Аналіз результатів довів, що зміна глибини руйнування контурів очисних камер змінюється за степеневими залежностями, а підготовчих виробок, що прилягають до камер – за експоненційними. Дані по тридцяти шести підготовчих виробках і двадцяти п’яти очисних камерах, розташованих в інтервалі глибин 507 – 1008 м, дозволили встановити еліпсоїдну форму меж деформації масиву навколо виробок (рис. 1). Інші форми вияву зонального структурування масиву навколо гірничих виробок відсутні.

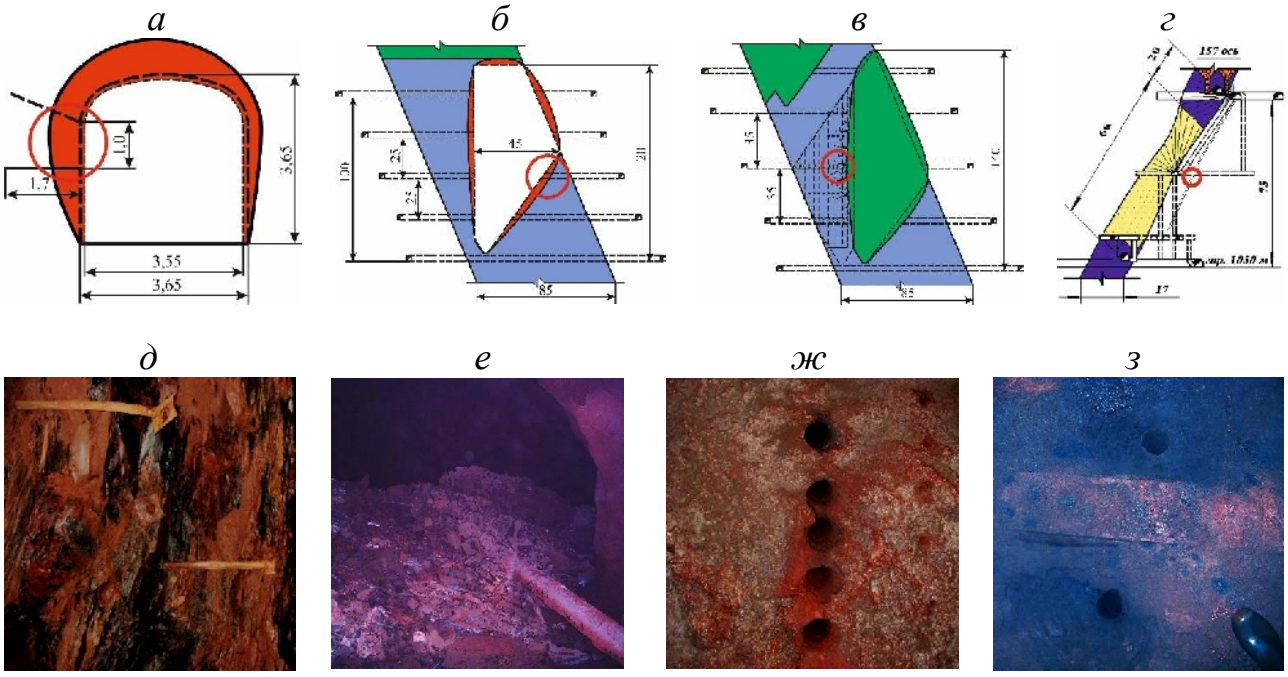


Рисунок 1 – Схеми виконання досліджень (*а*, *б*, *в*, *г*) і зовнішній вигляд об’єктів (*д*, *е*, *ж*, *з*) натурних досліджень глибини руйнування масиву гірських порід із використанням візуальних методів (*а*, *д*), методів маркшейдерських вимірювань (*б*, *е*), часткового розвантаження масиву (*в*, *ж*) і деформації свердловин (*г*, *з*); кола на схемах (*а*, *б*, *в*, *г*) є місцями фотофіксації об’єктів (*д*, *е*, *ж*, *з*)

Дослідження параметрів енергетичних зон на лабораторних моделях з еквівалентних матеріалів показали можливість візуалізації зональної напруженості масиву, еліпсоїдну форму зон, їх центрування щодо виробок і симетричну форму в горизонтальній і вертикальній площинах (рис. 2). Співвідношення півосей зон до піврозмірів підготовчої виробки (a_n/0,5h і b_n/0,5b) для зони № 1 склали 1,71 і 1,88, а для очисної камери – 1,71 та 1,51 відповідно. Співвідношення півосей зон до глибини руйнування контурів виробки (U+0,5h/0,5h і U+0,5b/0,5b) – склали 1,5 і камери – 1,14. Результати досліджень на оптико-поляризаційних матеріалах дозволили відтворити дещо друге впорядкування зон, в яких еліпсоїди мали несиметричну форму і не центрувалися з виробками. Співвідношення вертикальних і горизонтальних півосей в зоні № 1 склали для підготовчої виробки 1,43 і 1,56; в зоні № 2 відповідно – 4,71 та 3,28, а для очисної у зоні № 1 – 1,33 і 1,71 і у зоні № 2 – 3,12 та 4,57. Результати моделювання з використанням методу електродинамічних аналогій дозволили дослідити тільки приконтурні зони, в яких при симетричній формі еліпсоїдів і центруванні з виробками співвідношення вертикальних і горизонтальних півосей у зоні № 1 склало для підготовчої виробки 1,69 і для очисної – 1,66. При цьому співвідношення піврозмірів зон до піврозмірів виробок у горизонтальній площині були значно більшими як для підготовчої (3,25), так і для очисної (13,0) виробок.

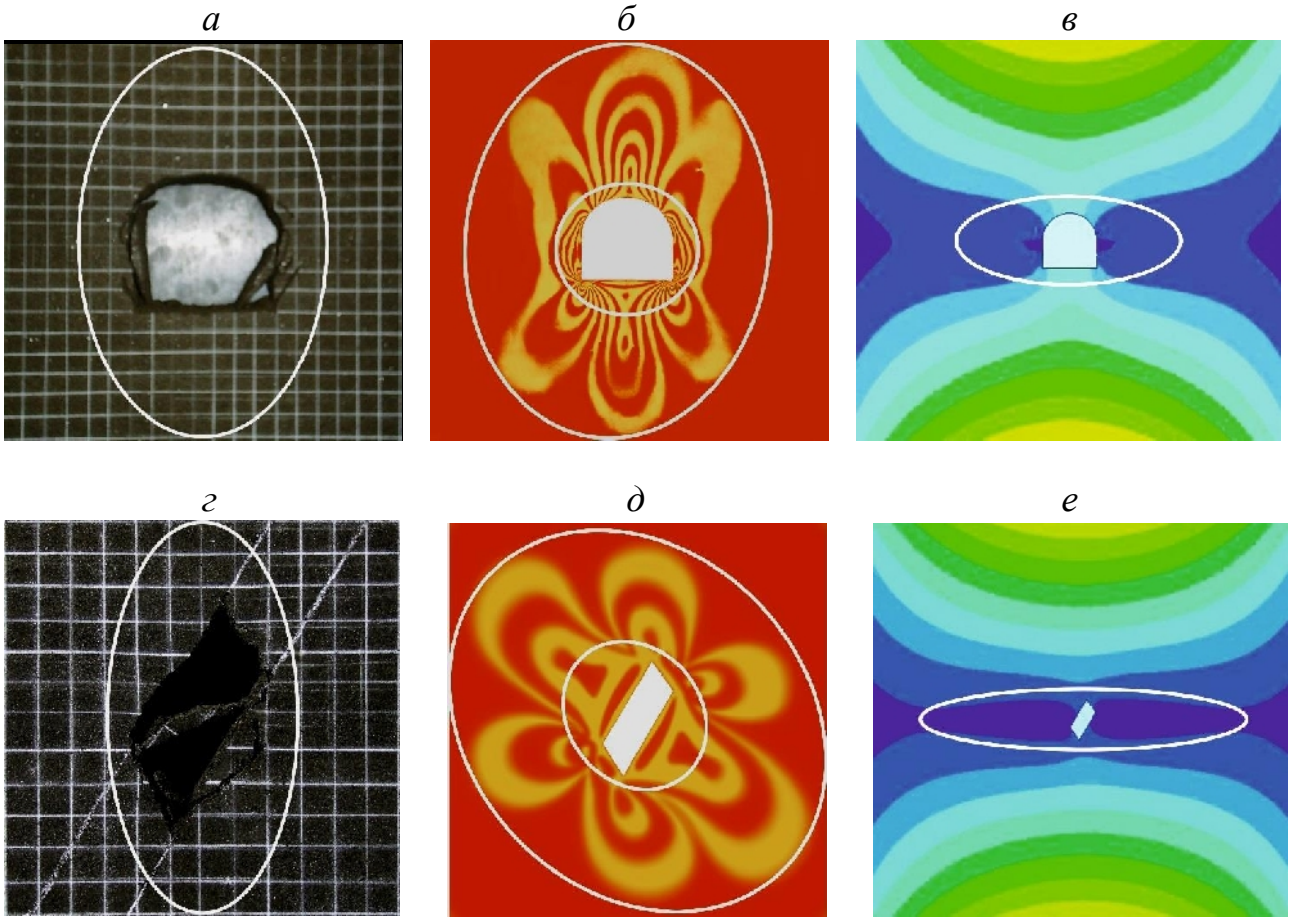


Рисунок 2 – Результати визначення енергетичних зон при моделюванні підготовчих (*а – в*) і очисних (*г – е*) виробок на еквівалентних (*а*, *г*), оптико-поляризаційних (*б*, *д*) та електропровідних (*в*, *е*) матеріалах для глибини 1000 м ПАТ «КЗРК»; еліптичні лінії навколо виробок – межі зон, де напруження наближаються до γH

Моделювання напруженості масиву в енергетичних зонах чисельними методами геомеханіки, основним з яких є метод скінчених елементів, доводить, що на контурі виробок радіальні напруження наближаються до 0, а тангенціальні – мають максимальні значення, оцінювання яких за допомогою поширених критеріїв міцності не показує зонального деформування масиву. Виявлене співвідношення вертикальних і горизонтальних півосей у зоні № 1 складає для підготовчої виробки 1,75 і 1,50; у зоні № 2 – 5,20 та 4,0; у зоні № 3 – 23,75 і 20,00 відповідно, а для очисної – у зоні № 1 – 1,30 і 3,25 (рис. 3, *в*, *г*). Термодинамічний метод доводить, що з наближенням до контуру виробки радіальні та тангенціальні напруження збільшуються, а на контурі виробки набувають максимальних значень. Співвідношення вертикальних і горизонтальних півосей зони № 1 складає для підготовчої виробки 2,05 і 1,90, а для очисної – 1,78 та 3,45. За використанням цього методу відсутня можливість визначення стану масиву за межами зони № 1 (зони розвантаження, рис. 3, *в*, *г*).

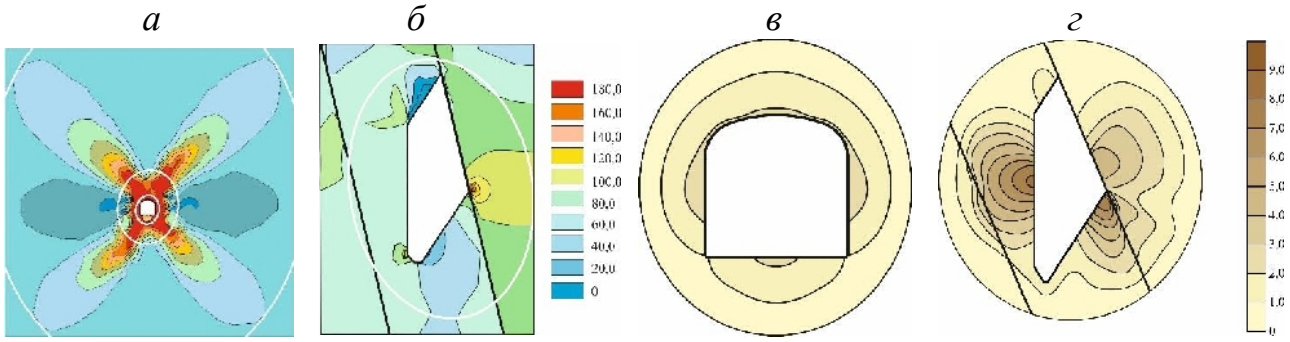
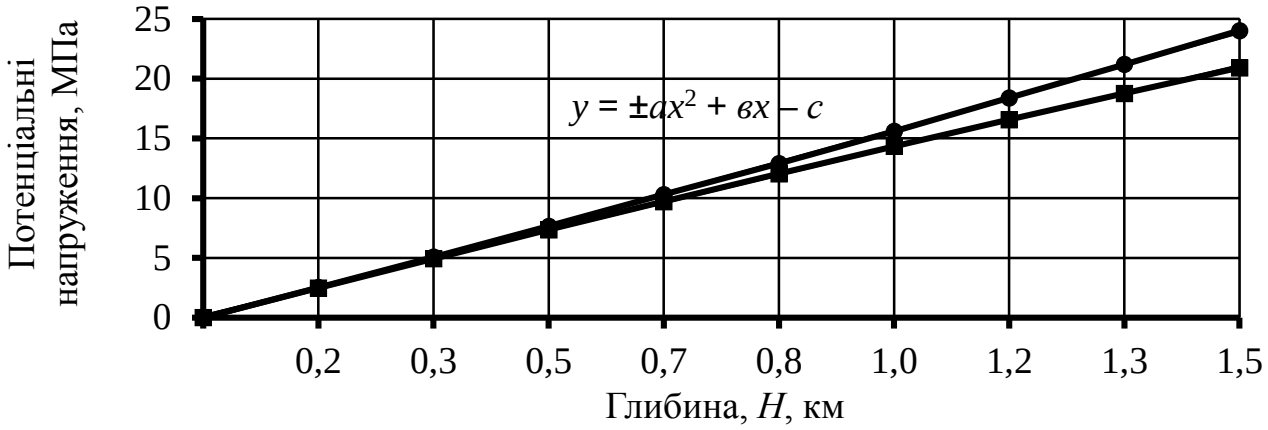


Рисунок 3 – Розвиток напружено-деформованого стану і формування зон розвантаження та концентрації напружень навколо підготовчих виробок (*а*, *в*) й очисних камер (*б*, *г*) на глибині 1000 м ПрАТ «ЗЗРК», відтворених методом скінчених елементів (*а*, *б*; кН/м^2) і термодинамічним методом (*в*, *г*; МПа)

Виконані дослідження явища зонального структурування масиву навколо гірничих виробок з використанням широко застосовуваних промислових, лабораторних і теоретичних методів не дозволили встановити точну кількість, розміри і форму енергетичних зон, виявити флуктуації напружень і кільцеві межі деформації масиву. Отже, зазначене явище висвітлює наукову проблему, що потребує розробки методів її вирішення шляхом удосконалення ентропійного методу, як частини термодинамічної теорії, і створення нового – енергетичного. Це дозволить досліджувати зазначені процеси та закономірності, які формують зональні капсули навколо гірничих виробок.

Розділ 3. Розробка синергетичних методів дослідження та моделювання феномену зонального капсулювання гірничих виробок, присвячений вирішенню 2 і 3-го завдань роботи. Дослідження феноменального явища формування капсул навколо гірничих виробок базувалося на розробці принципів, понять і вимог до синергетичних методів, що дозволило для вдосконаленого ентропійного і розробленого енергетичного методів побудувати розрахункові схеми, визначити вихідні дані, виконати всі етапи моделювання та перевірити

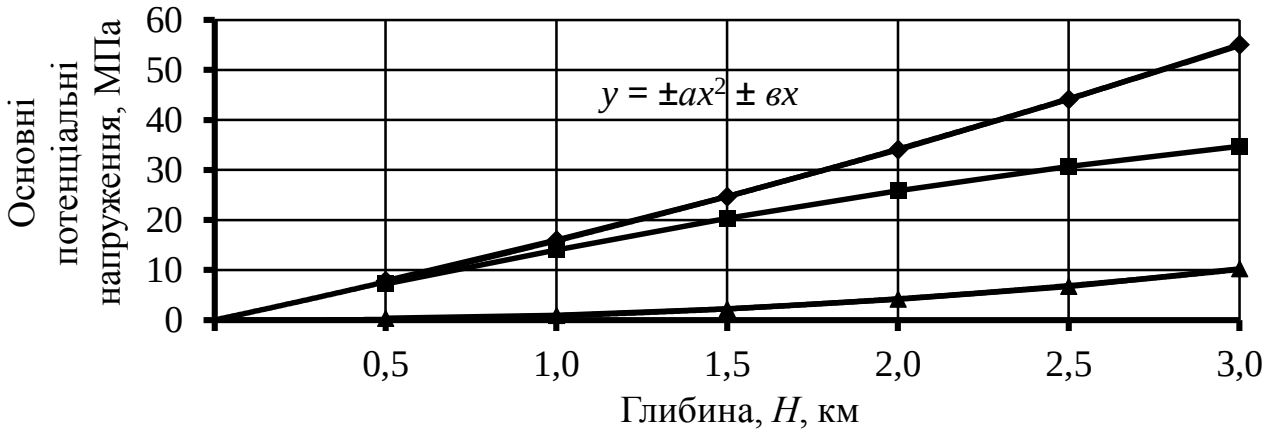
достовірність і збіжність отриманих результатів. За допомогою ентропійного методу встановлено, що поширення ентропії в непорушеному масиві гірських порід Українського кристалічного щита відбувається у взаємно перпендикулярних напрямах, які співпадають з вертикальними і горизонтальними енергетичним потоками. Так, при вертикальному тиску в 50 МПа на глибині 1500 м в масиві перерозподіляється тільки частина потенціальної енергії, обсяг якої становить для горизонтальних напружень 50%, а вертикальних – 45% (рис. 4).



Напруження: ● – горизонтальні, $\Delta\sigma x = \Delta\sigma y$; ■ – вертикальні, $\Delta\sigma z$

Рисунок 4 – Залежності зміни потенціальної енергії в непорушеному масиві гірських порід Українського кристалічного щита

Співвідношення вертикальних енергетичних потоків до горизонтальних описується коефіцієнтом форми енергетичних зон λ, який зменшується від 1 до 0 при зниженні міцності гірських порід від 200 до 40 МПа та збільшенні глибини розробки до 3000 м за системою експоненціальних залежностей. Збільшення вертикального тиску до 91 МПа на глибинах до 3000 м призводить до перерозподілу потенціальної енергії у масиві гірських порід Криворізького басейну, обсяг якої для горизонтальних напружень становить вже 95%, а для вертикальних – 57% (рис. 5).



Напруження: ♦ – нормальне, $\sigma_{1(y)}$; ■ – нормальне, $\sigma_{2(y)}$; ▲ – дотичне, τ_{max}

Рисунок 5 – Залежності зміни основних потенціальних напружень, що діють в непорушеному масиві гірських порід Криворізького басейну

Параметри формування капсул досліджувалися за допомогою енергетичного методу при оперуванні категоріями «конвергенція» та «дивергенція», що є фазами доцентрової самоорганізації відкритих систем. У процесі конвергенції масив, що вміщує виробку, поділяється на підзони інтеграції (виділені жовтим фоном – рис. 6, *а*), а при дивергенції – підзони дезінтеграції. Конвергенція та дивергенція масиву протидіє формуванню в ньому гірничої виробки та відновлює свою цілісність за рахунок її капсулювання системою кільцевих енергетичних зон. Гірнича виробка є епіцентром порушення енергетичної рівноваги в масиві. Запобіжна капсула складається з системи кільцевих енергетичних зон, у яких за синусоїдно-згасаючою автохвильовою залежністю виконується урівноваження енергії (рис. 6, *б*).

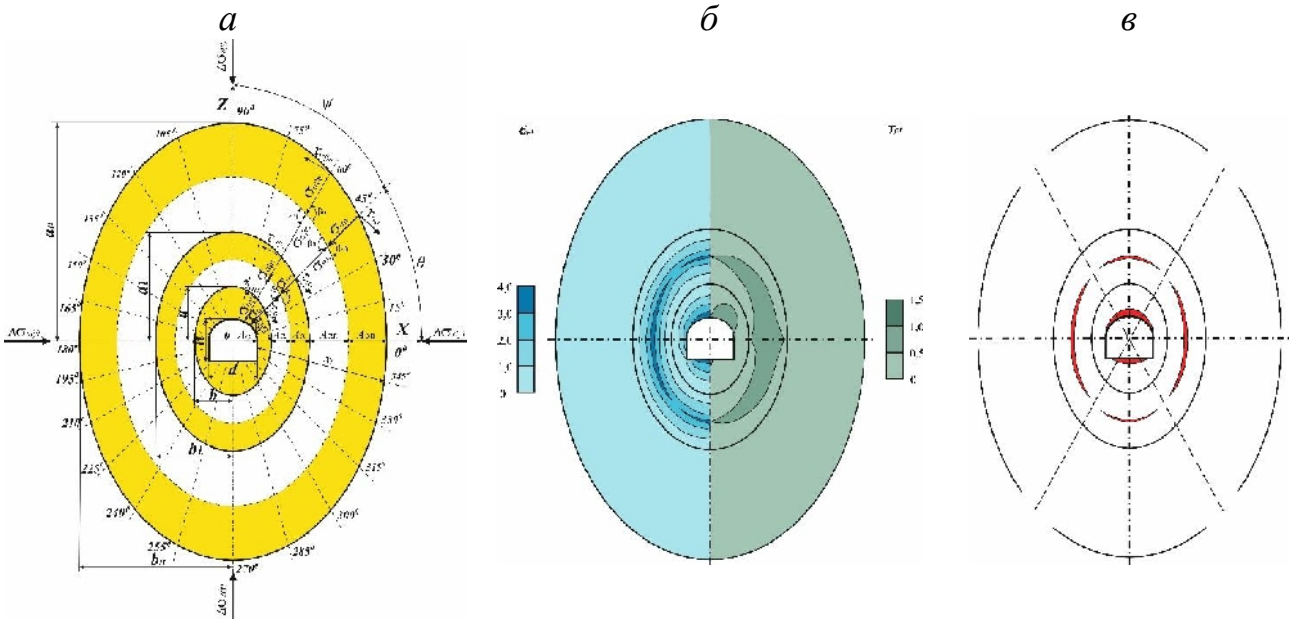


Рисунок 6 – Розрахункова схема моделювання енергетичних процесів при зональному капсулюванні масивом підготовчої виробки (*а*), поля радіальних σ_{pt} і тангенціальних σ_{pt} сумарних напружень у масиві зон термодинамічного балансу енергії, МПа (*б*), формування кільцевих меж деформації масиву в зонах термодинамічного дисбалансу енергії (*в*, виділено червоним фоном) для вихідних даних: $S_{пр}$ = 10,5 м^2; H = 1200 м; $\sigma_{ст}$ = 80 МПа

Від контуру виробки до межі капсули амплітуда напружень зменшується, а період дії напружень збільшується, що призводить до руйнування порід у приконтурних зонах (зонах термодинамічного дисбалансу енергії) і незначного підвищення напружень у замикаючих капсулу зонах, де енергія збалансована (зонах термодинамічного балансу енергії). За допомогою програмного продукту «Surfer» або графічних редакторів «CorelDRAW», «AutoCAD», «Компас», «Photochop» можна відстроїти поперечний переріз виробки, контури енергетичних зон з півосями a, a_1, a_2, a_n і b, b_1, b_2, b_n, згідно з розрахунковою схемою, поданою на рис. 6. З центру виробки проводяться промені у площинах, які відповідають кутам $a \le \alpha \le 2\pi$ з напрямом напруження $\Delta\sigma_{x(y)}$ через 15°. Уздовж кожної з них від межі останньої енергетичної зони до контуру виробки будуються поля потенціальних і реальних напружень у масиві енергетичних зон.

Моделювання підготовчих і очисних виробок у гірських породах міцністю 40 – 200 МПа з глибиною розробки до 3000 м дозволило виявити верифікаційні степеневі залежності, що визначають співвідношення розмірів енергетичних зон (a_n, b_n, c_n). Встановлено, що це співвідношення є постійною величиною, на яку не впливає форма і розміри, глибина закладання і властивості масиву, що вміщує виробку, м

$$\left.\begin{array}{l} a = a_2 - a_1 = a_3 - a_2 = a_{n+1} - a_n; \\ b = b_2 - b_1 = b_3 - b_2 = b_{n+1} - b_n; \\ c = c_2 - c_1 = c_3 - c_2 = c_{n+1} - c_n \end{array}\right\} \; a_n = e^{0,7n}/2. \qquad (1)$$

Значення радіальних σ_p і тангенціальних τ_p напружень, що діють у масиві навколо гірничої виробки в результаті перетворення потенціальної енергії, визначаються як різниця між потенціальними напруженнями, характерними для непорушеного масиву, і залишковими потенціальними напруженнями в точках з координатою x_i уздовж кожної розрахункової площини, відповідно, МПа

$$\begin{cases} \sigma_p = \sigma_\alpha - \sigma_{\alpha\beta} \\ \sigma_{p1} = \sigma_{\alpha 1} - \sigma_{\alpha\beta 1} \\ \sigma_{p2} = \sigma_{\alpha 2} - \sigma_{\alpha\beta 2} \\ \sigma_{p3} = \sigma_{\alpha 3} - \sigma_{\alpha\beta 3} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \sigma_{pn} = \sigma_{\alpha n} - \sigma_{\alpha\beta n} \end{cases}; \quad \begin{cases} \tau_p = \tau_\alpha - \tau_{\alpha\beta} \\ \tau_{p1} = \tau_{\alpha 1} - \tau_{\alpha\beta 1} \\ \tau_{P2} = \tau_{\alpha 2} - \tau_{\alpha\beta 2} \\ \tau_{P3} = \tau_{\alpha 3} - \tau_{\alpha\beta 3} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \tau_{Pn} = \tau_{\alpha n} - \tau_{\alpha\beta n} \end{cases}.$$

За значеннями σ_p і τ_p встановлюють величини пружних радіальних деформацій розтягу ε_σ і тангенціальних деформацій стиснення ε_τ породи в зонах термодинамічного балансу енергії, м

$$\begin{cases} \varepsilon_\sigma = \sigma_p / E \\ \varepsilon_{\sigma 1} = \sigma_{p1} / E \\ \varepsilon_{\sigma 2} = \sigma_{p2} / E \\ \varepsilon_{\sigma 3} = \sigma_{p3} / E \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \varepsilon_{\sigma n} = \sigma_{pn} / E \end{cases}; \quad \begin{cases} \varepsilon_\sigma = \sigma_p / E \\ \varepsilon_{\tau 1} = \tau_{p1} / E \\ \varepsilon_{\tau 2} = \tau_{p2} / E \\ \varepsilon_{\tau 3} = \tau_{p3} / E \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \varepsilon_{\tau n} = \tau_{pn} / E \end{cases}.$$

Сумарні значення механічних (σ_p і τ_p), температурних (σ_t і τ_t) напружень, а також при необхідності інших чинників енергетичної інтенсивності масиву – щільності, водо- і газонасиченості, намагніченості та радіоактивності (σ_i і τ_i) визначаються на всіх розрахункових площинах і заданих точках x_i, відповідно, МПа.

$$\begin{cases} \sigma_{pt} = \sigma_p + \sigma_t + \sigma_i \\ \sigma_{pt1} = \sigma_{p1} + \sigma_{t1} + \sigma_{i1} \\ \sigma_{pt2} = \sigma_{p2} + \sigma_{t2} + \sigma_{i2} \\ \sigma_{pt3} = \sigma_{p3} + \sigma_{t3} + \sigma_{i3} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \sigma_{ptn} = \sigma_{pn} + \sigma_{tn} + \sigma_{in} \end{cases}; \quad \begin{cases} \tau_{pt} = \tau_p + \sigma_t + \sigma_i \\ \tau_{pt1} = \tau_{p1} + \sigma_{t1} + \sigma_{i1} \\ \tau_{pt2} = \tau_{p2} + \sigma_{t2} + \sigma_{i2} \\ \tau_{pt3} = \tau_{p3} + \sigma_{t3} + \sigma_{i3} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \tau_{ptn} = \tau_{pn} + \sigma_{tn} + \sigma_{in} \end{cases}.$$

За результатами розрахунків будуються поля напружень σ_{pt} і τ_{pt} у зонах термодинамічного балансу енергії (див. рис. 6, *б*). Кількість зон термодинамічного балансу залежить від міцнісних властивостей гірських порід і глибини гірничих робіт, що впливають на рівень зміни напружень, температури, щільності й інших чинників енергетичної інтенсивності. При досягненні межі міцності порід на стиснення або розтяг у масиві зони термодинамічного балансу, вона перестає сприймати повне навантаження від об'ємного стиснення порід і переходить у стан термодинамічного дисбалансу енергії. З цієї причини навколо цієї зони, що втратила міцність (жорсткість), масив формує нову зону балансу, але вже зі збільшеними розмірами. Як правило, деформування масиву відбувається там де реальні напруження, що діють у масиві зони термодинамічного дисбалансу, перевищують гранично допустимі на розтяг або стиснення. Різницю між чинними та граничними напруженнями відображає коефіцієнт запасу міцності *n*.

Руйнівне (позамежне) деформування масиву визначається за межами міцності породи на розтяг $\sigma_{\rho g}$ і стиснення τ_g, МПа

$$\sigma_{\rho g} = \sigma_{\rho g1} = \sigma_{\rho g2} = \sigma_{\rho g3} = \sigma_{\rho gn} = 0{,}13 K_{co}\sigma_{cm};$$

$$\tau_g = \tau_{g1} = \tau_{g2} = \tau_{g3} = \tau_{gn} = 0{,}15 K_{co}\sigma_{cm},$$

де K_{co} – коефіцієнт структурного ослаблення масиву, що залежить від ступеня тріщинуватості гірських порід і складає 0,20 – 0,33 за В.В. Ржевським.

Для виявлення місць позамежної деформації масиву необхідно на всіх розрахункових площинах визначити місце положення точок, у яких n_p, $n_\tau = 1$. Отримані точки оконтурюють межі нестійких порід, що утворюються навколо підготовчих виробок, очисних камер та вироблених просторів, а також у всіх зонах термодинамічного дисбалансу енергії (див. рис. 6, *в*). Деформування порід у черговій зоні термодинамічного дисбалансу призводить до формування і перенесення навантаження на нову зону термодинамічного балансу енергії. Тобто для визначення кількості енергетичних зон необхідно виконати моніторинг усіх точок на розрахункових площинах у зонах термодинамічного балансу і дисбалансу за умови протидії масиву розтягу і стиску, що при n_p, $n_\tau \le 1$ сприяє формуванню чергової зони, раз

$$\begin{cases} n_p = \dfrac{\sigma_{pg}}{\sigma_{pt}} \le 1 \\ n_{p1} = \dfrac{\sigma_{pg}}{\sigma_{pt1}} \le 1 \\ n_{p2} = \dfrac{\sigma_{pg}}{\sigma_{pt2}} \le 1 \\ n_{p3} = \dfrac{\sigma_{pg}}{\sigma_{pt3}} \le 1 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ n_{pn} = \dfrac{\sigma_{pg}}{\sigma_{ptn}} \le 1 \end{cases}; \quad \begin{cases} n_\tau = \dfrac{\tau_g}{\tau_{pt}} \le 1 \\ n_{\tau 1} = \dfrac{\tau_g}{\tau_{pt1}} \le 1 \\ n_{\tau 2} = \dfrac{\tau_g}{\tau_{pt2}} \le 1 \\ n_{\tau 3} = \dfrac{\tau_g}{\tau_{pt3}} \le 1 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ n_{\tau n} = \dfrac{\tau_g}{\tau_{ptn}} \le 1 \end{cases}.$$

Загальна кількість енергетичних зон приймається як більша з двох значень, шт.

$$N_1 = N_p + 1, \text{ шт.}; \; N_2 = N_\tau + 1,$$

де N_p і N_τ – порядкові номери зон, в яких не виконуються умови міцності на розтяг n_{pn} і стиснення $n_{\tau n}$ відповідно.

Перехід масиву в стан дисбалансу пружної енергії реалізується в зонах, наближених до виробки. Якщо в приконтурній зоні руйнування викликає розширення масиву в бік відслонення, то в наступних зонах – розвиваються радіально-спрямовані зустрічні процеси дивергенції та конвергенції, що формують кільцеві межі деформованих порід у центрі зон термодинамічного дисбалансу енергії. У приконтурній зоні неможливе досягнення кільцевої міцності через її однобічність за рахунок наявності виробки. Це призводить до термодинамічного дисбалансу енергії, проявами якого є вивали з покрівлі, боків та підняття підошви виробки, зміна температури порід, виділення газів і води тощо.

Перерозподіл напружень навколо виробки припиняється після досягнення рівноваги, при якій утримувальна здатність новоствореної зони буде достатньою для ізоляції всіх зон дисбалансу енергії та самої виробки і негативного впливу на непорушений масив порід. Процес перерозподілу енергії зупиняється, й утворюється стійка, ізольована система, яка називається запобіжною (ізолюючою, захисною) капсулою, що складається із зон термодинамічного дисбалансу і балансу енергії.

Значення напружень у замикаючій зоні термодинамічного балансу визначаються як різниця між максимальними напруженнями, що діють в останній зоні термодинамічного дисбалансу, і межею міцності порід на розтяг чи стиск. Кількість пружної енергії сумарних напружень, що при втраті міцності переносяться з однієї зони в іншу і формують при цьому загальний баланс жорсткості запобіжної капсули відповідає співвідношенню

$$\sigma_{pn} = \sigma_{pg} - \sigma_{ptn} > 0; \; \tau_{\tau n} = \tau_g - \tau_{ptn} > 0.$$

Збільшення кількості енергетичних зон у запобіжній капсулі N на глибині закладання підготовчої виробки H відбувається при зниженні міцності гірських порід і збільшенні глибини розробки, що описується системою поліноміальних залежностей четвертого порядку. Залежності виду $N = aH^4 – bH^3 + cH^2 – dH$ були отримані для міцності порід σ_{cm} = 40 – 200 МПа та глибини розробки до 5000 м за кореляції R^2 = 0,98 – 1,0. За допомогою множинної апроксимації для отриманих поліноміальних залежностей були встановлені значення коефіцієнтів a, b, c і d, які враховують зміну міцності порід: $a = 0{,}0018\sigma$, $b = 0{,}0116\sigma^{1{,}05}$, $c = 0{,}0246\sigma^{1{,}094}$, $d = 0{,}0107\sigma^{1{,}16}$. Це дозволило отримати загальне рівняння кількості енергетичних зон в запобіжній капсулі виробки, шт.

$N = \sigma_{cm}H\,(0{,}0018\sigma_{cm}H^4\,0{,}0116\sigma_{cm}{}^{1{,}05}H^3 + 0{,}0246\sigma_{cm}{}^{1{,}094}H - 0{,}0107\sigma_{cm}{}^{1{,}16}$, при $R^2 = 0{,}91$.

Виконані промислові, лабораторні та теоретичні дослідження за допомогою відомих і розроблених нами методів моделювання мають різну достовірність та збіжність результатів, що зумовило необхідність оцінювання точності отриманих технічних параметрів за допомогою методу найменших квадратів, зокрема глибину руйнування масиву навколо виробок, кількість

енергетичних зон, що утворюються в капсулі та розміри цих зон. Промислові дослідження глибини руйнування масиву навколо виробок показали достовірність результатів для методів спостережень й оцінювань 92,94%, маркшейдерських зйомок – 92,06%, розвантаження масиву – 82,47% і деформації свердловин – 68,27%. Загальна достовірність натурних досліджень становить 83,93%. Результати фізичного моделювання розмірів та кількості енергетичних зон, що утворилися в прилеглому масиві, отримані з достовірністю для еквівалентних матеріалів 94,0%, оптико-поляризаційних – 92,0% і електропровідних – 82,0%. Загальна достовірність лабораторних експериментів склала 89,33%. Результати теоретичного моделювання зазначених параметрів отримані методом скінчених елементів 82,28% і термодинамічним методом – 92,68%. Загальна достовірність аналітичних досліджень склала 87,70%, а збіжність результатів натурних і фізичних експериментів – 93,95%, аналітичних та фізичних – 98,17%.

Для підтвердження наукової новизни і практичної цінності отриманих результатів, які спираються на дані моделювання, що отримані за допомогою енергетичного методу, виконано порівняльний аналіз результатів з даними формування подібних систем на різних масштабних рівнях. Встановлено, що збільшення масштабу системи від мікро- до макро- і мегарівнів супроводжується еквівалентним збільшенням постійної величини гравітації за логарифмічною залежністю, щільності ядра і періоду коливання поверхні, у тому числі і земної – за поліноміальними залежностями. При цьому постійними залишаються період згасання хвильових коливань ($6{,}67\cdot10^{-11}$ м^3/кг·с^2) і співвідношення розмірів енергетичних зон у системах різних масштабних рівнів, м

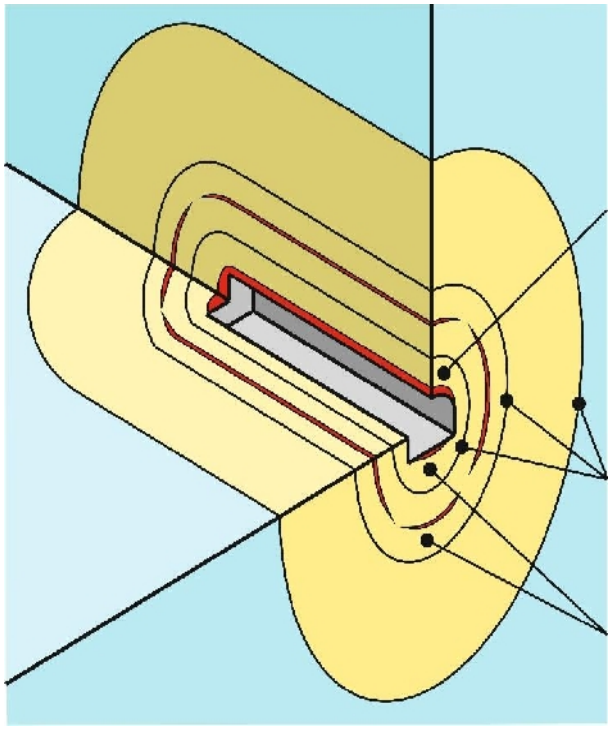
$$\left.\begin{array}{l} \text{– мегарівень: } R_n - R = 2(R_{n-1} - R); \\ \text{– макрорівень: } a = a_{n+1} - a_n; \\ \text{– мікрорівень: } x_n = 2x_n - x_n \end{array}\right\} a_n = 0{,}5e^{0{,}7n},$$

яке показує, що кожна наступна енергетична зона має розмір, який у 2 рази перевищує попередню зону.

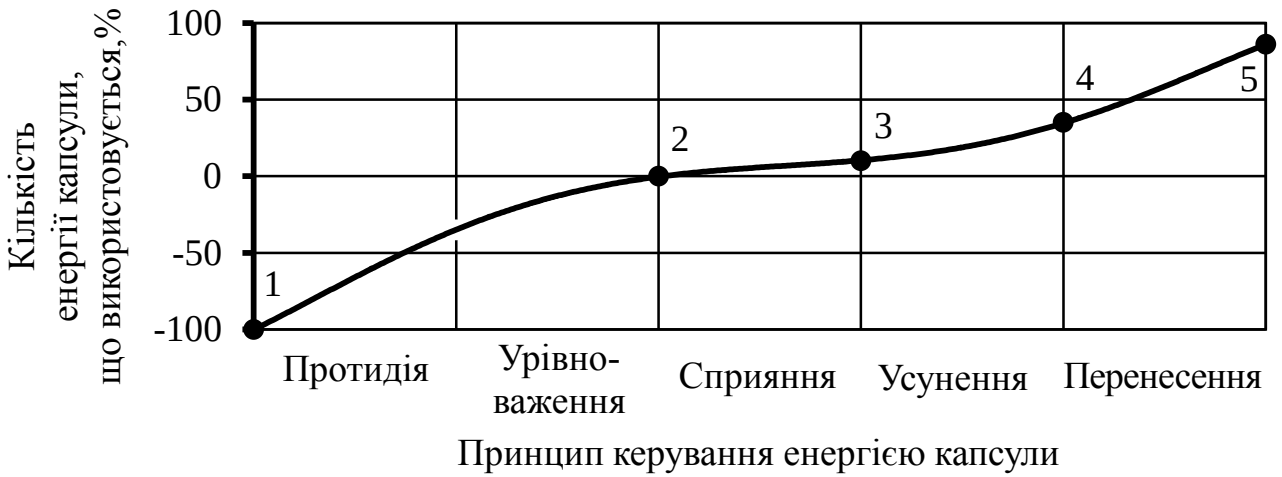
Отримані залежності співвідношення розмірів зон для досліджуваних систем (R_n, a_n, x_n) збігаються з встановленими верифікаційними степеневими залежностями (1), що описують співвідношення розмірів енергетичних зон у капсулі виробки, збіжність значень яких сягає 100%. Це остаточно свідчить про високий рівень збіжності результатів моделювання, отриманих за допомогою енергетичного методу дослідження.

Розділ 4. Розробка технологічних рішень видобування руд з використанням енергії гірського тиску, стосується вирішення 4 і 5-го наукових завдань. Для оцінювання відносної кількості енергії, яку можливо використати в технологічних рішеннях, необхідно виконати аналіз відповідності застосовуваних і нових науково-виробничих принципів керування енергетичним станом масиву гірських порід на глибині. Для цього використовувалось значення коефіцієнта форми енергетичних зон λ і тиск порід на контурі виробки $P_м$, а також враховувалась конструкція кріпильної системи в підготовчих виробках та умови відбивання шарів руди в очисних камерах (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри керування запобіжною капсулою виробки

Ізометрія запобіжної капсули, що сформована навколо підготовчої виробки	**Зона капсули, що використовується**	**Принцип керування енергією капсулою**	**Коефіцієнт форми зон, λ**	**Тиск на контурі виробки, $P_м$, МПа**	**Баланс використання енергії капсули, %**	**Керуючий вплив на капсулу**
	Приконтурна	Протидія	0,5 – 0,1	> 1,75	> –100,0	Аркове кріплення виробок
		Урівноваження	1,0 – 0,9	0	0	Стійкі розміри і форма виробок
		Сприяння	0,9 – 0,8	0 – 0,5	0 – +10,0	Руйнування нестійких місць масиву
	Межі зон	Усунення	0,8 – 0,6	0,5 – 1,75	+10,0 – +35,0	Нові траєкторії закладання виробок
	Приконтурна, перша	Перенесення	0,6 – 0,5	> 1,75	+35,0 – +86,0	Саморегулювальне кріплення виробок

Енергія запобіжної капсули, що сформувалася навколо гірничої виробки, витрачається згідно з параболо-гіперболічною залежністю, значення якої відповідають принципам протидії, урівноваження, сприяння, усунення та перенесення сконцентрованої енергії масиву, на базі яких запропоновано технологічні рішення (рис. 7).



1 – 5 – ключові точки взаємодії енергії запобіжної капсули з енергією віджимання кріплення виробки

Рисунок 7 – Графічна інтерпретація методологічних принципів керування енергією запобіжної капсули

З рис. 7 видно, що кріплення гірничих виробок за принципом протидії, який закладається в конструкцію кріплення, реалізується з енерговитратами, еквівалентними максимальній енергії масиву, а при використанні принципу урівноваження – витрати енергії на підтримання практично відсутні. Починаючи з принципу сприяння технічно можливо використовувати до 10% енергії масиву, а для принципу усунення – до 35% і для принципу перенесення – до 86%. Ефективний вибір та використання розробленого геоенергетичного кріплення і управління порушеним масивом забезпечується їх систематизацією за принципами керування енергією запобіжної капсули (протидія, врівноваження, сприяння, усунення та перенесення), кількістю використовуваної в технологіях енергії масиву (від –100 до +86%), видом гірничих робіт (підготовчих, очисних), глибиною гірничих робіт (100 – 3000 м) на гірничодобувних підприємствах (ПАТ «КЗРК», ПрАТ «ЗЗРК», ДП «СхідГЗК», ПАТ «МГЗК»).

Удосконалення технологій підготовчих робіт містило розробку тимчасового кріплення вибою підготовчих виробок для шахт ПАТ «МГЗК», яке складається з металевих анкерів багаторазового використання. Анкери швидко монтуються і демонтуються в приконтурній зоні капсули при 100% протидії енергії масиву (див. рис. 7, точки 1 – 2). Використання до 35% енергії масиву відповідно до принципу усунення можливо за рахунок закладання трас поверхових і підповерхових польових штреків, які проходяться по еліпсоїдних межах приконтурних енергетичних зон запобіжних капсул, що сформовані

навколо очисних камер на шахтах ПрАТ «ЗЗРК», а також при закладанні підповерхових бурових штреків за межею інтенсивного деформування порід, сформованою у приконтурній зоні очисних камер на шахтах ПАТ «КЗРК» (див. рис. 7, точки 3 – 4). Надання еліпсоїдних контурів площині вибою і перерізу підготовчих виробок на шахтах ПАТ «КЗРК» дозволяє врівноважити стійкість відслонень з енергетичним станом запобіжної капсули без витрат енергії на підтримання (див. рис. 7, точка 2), а додаткове використання саморегулювального кріплення, яке працює за принципом перенесення енергії конвергенції, що руйнує контур відслонення, в зону з активною дивергенцією, що їй протидіє, дає можливість використовувати до 86% енергії, яка генерується запобіжною капсулою виробки (див. рис. 7, точки 4 – 5).

Розробка технологічних рішень щодо вдосконалення очисних робіт містила визначення стійкої форми виробок підсічки і відрізки, яка за принципом урівноваження виключає самообвалення руди, порід і закладки в очисний простір на шахтах ПрАТ «ЗЗРК» без витрат ресурсів на усунення наслідків обвалень (див. рис. 7, точка 2). Максимально стійка форма конструктивних елементів блоків (днищ, міжкамерних і міжповерхових цілико в) досягається шляхом надання контурам еліпсоїдних форм за принципом урівноваження, що призводить до збільшення камерного запасу блока і зниження собівартості видобутку руди на глибоких горизонтах шахт ПАТ «КЗРК», ПАТ «ЄВРАЗ Суха Балка» та ПАТ «АМ Кривий Ріг» без додаткових енерговитрат (див. рис. 7, точка 2). Раціональні напрями буріння експлуатаційних свердловин у прилеглій до очисної камери зоні сприяє більш якісному первинному подрібненню руди в камерах шахт ПрАТ «ЗЗРК» і дозволяє використовувати до 10% енергії масиву і знизити обсяг експлуатаційних свердловин і вибухових речовин (див. рис. 7, точки 2 – 3). Порядок ведення буропідривних робіт враховує сприяння руйнуванню руди по контуру очисних камер, а використання до 10% енергії масиву дозволяє збільшити відстань між експлуатаційними свердловинами на шахтах ДП «СхідГЗК» (див. рис. 7, точки 2 – 3).

Максимальний геоенергетичний ефект при цілеспрямованому використанні енергії запобіжних капсул гірничих виробок можливо досягти шляхом комбінування кількох принципів в одному технологічному рішенні. Так, наприклад, ефективне одночасне використання стійкої форми і саморегулювального кріплення в площині вибою і в перерізі підготовчої виробки або застосування стійкої форми й анкерного кріплення для відслонень масиву в очисних камерах тощо.

Розділ 5. Розробка технологій видобування супутньої сировини в енергетично порушених шахтних полях, висвітлює результати виконання 6-го завдання де було встановлено, що технології видобування основних і супутніх корисних копалин у шахтних полях з порушеним енергетичним станом масиву повинні базуватися на оцінюванні порядку та взаємного впливу техногенних утворень, основним з яких визначено вироблений простір (далі – ВП) шахт. Систематизація технологічних рішень з керування ВП шахт при відпрацюванні рудних покладів Кривбасу враховує техногенні чинники, що впливають на енергетичний стан масиву і висвітлює подальші шляхи мінімізації негативного впливу на технології видобування основних і супутніх корисних копалин (табл. 2).

Таблиця 2 – Систематизація технологічних рішень
з керування ВП шахт при відпрацюванні покладів Кривбасу

Клас покладу	**Стан товщі порід, що налягають**	**Сутність технологічного рішення**	**Місце проведення гірничих робіт**
I. Без виходу під наноси («сліпі»)	Зрушення порід відсутнє	З'єднання зближених ВП	Безрудні проміжки між ВП шахти
II. З виходом під наноси		Зміна форми ВП шахти	Нижня межа ВП шахти
III. З виходом під наноси	Руйнування порід до земної поверхні	Розділення протяжних ВП на відокремлені	Середня частина ВП шахти

Окрім основних технологічних рішень, що дозволяють знизити або змінити техногенне навантаження на енергетичний стан масиву шахтного поля, можливі менш активні заходи, тобто більш точне врахування техногенних змін у масиві. Для обґрунтування можливості видобутку супутніх джеспілітів в умовах Кривбасу розроблені, запатентовані та запропоновані до впровадження доповнення до офіційно діючих інструкцій. Шляхом урахування зниження рівня геоенергії у породах лежачого боку обґрунтовані міцнісні параметри видобувних блоків підповерхово-камерної системи розробки, за допомогою якої реалізується видобування монолітів для каменеобробної промисловості України зі співвідношенням цін товарної руди і крупноблочного джеспіліту як 1:6.

Розміри конструктивних елементів запропонованої системи розробки відповідають підвищеному запасу міцності, що дорівнює 15-ти при відпрацюванні місць масиву, розвантажених ВП шахти. Це забезпечує можливість проведення очисних робіт з виколювання монолітів підошвоуступним вибоєм з присутністю людей в очисному просторі (табл. 3).

Таблиця 3 – Технологічні параметри
підповерхово-камерної системи розробки
для видобування декоративних джеспілітів великими блоками

Показник	**Значення**
Розмір камери за простяганням порід a, м	12
Розмір камери за падінням порід $в$, м	12
Ширина міжкамерного цілика c, м	8
Товщина похилої стелини $h_п$, м	8
Товщина проміжної товщі $h_п$, м	20
Кількість очисних камер за падінням порід $n_п$, шт.	4
Кількість очисних камер за простяганням порід $n_{пр}$, шт.	3

Для умов згортання гірничих робіт та вилучення балансових запасів марганцевої руди у відводах шахтних полів Нікополь-Марганецького басейну розроблений, запатентований і запропонований до впровадження спосіб відпрацювання супутніх гранітів. За методикою С.Г. Борисенка, що була вдосконалена для врахування надробки запасів гранітів випереджальним відпрацюванням марганцевого пласта, були визначені технологічні параметри камерно-стовпової системи розробки. Урахування зміни рівня геоенергії у шахтному полі дозволяє збільшити до 2,5 разів стійкі розміри очисних блоків камерно-стовпової системи розробки, у 2 рази знизити витрати на видобуток і подовжити термін експлуатації марганцевих шахт (табл. 4).

Таблиця 4 – Технологічні параметри камерно-стовпової системи розробки для видобування сірих гранітів великими блоками

Показник	**Без урахування надробки**	**З урахуванням надробки**	**Зміна параметра, %**
Довжина стовпа a, м	150	300	+100
Ширина стовпа $в$, м	60	80	+25
Висота очисної камери c, м	8	20	+150
Ширина, довжина камери $a_ц$, м	15	35	+133
Ширина опорного цілика $в_ц$, м	6	4	–33

Розробка технологій видобування каменесамоцвітної сировини України в умовах техногенезу надр ґрунтувалася на класифікаціях родовищ самоцвітів і систем розробки за ознакою енергетичного стану масиву на момент розробки, який визначає способи відділення матеріалу від масиву. Вибір раціональної системи розробки самоцвітів для відповідного родовища ґрунтується на урахуванні постійних і змінних гірничо-геологічних і техногенних чинників, що дозволяє знизити собівартість видобутку сировини і осяги енерговитрат на розробку родовища.

Розділ 6. Оцінювання економічної ефективності й організація впровадження у виробництво геоенергетичних технологій розробки. Присвячений 7-му завданню, що ґрунтується на методиці визначення дільничної й загальної собівартості при видобуванні основних (рудних) і супутніх (рудних, нерудних, каменесамоцвітних) корисних копалин. Надано комплексне оцінювання ефективності впровадження розроблених геоенергетичних технологій на вітчизняних і зарубіжних гірничодобувних підприємствах. Методика розрахунку містила визначення питомих витрат на 1 т видобутої руди, що є відношенням конкретного виду витрат на видиме вилучення корисної копалини у видобувному блоці, або на обсяг окремих видів підготовчих або очисних робіт (проведення виробок, підсікання або відрізання запасів камери)

$$З_{пт.з} = \frac{ФЗП_{осн} + ФЗП_{дод} + О_{соц} + ФЗП_{ІТП} + С_{м} + С_{ел.} + С_{ст.п} + А + З_{р.о.}}{А_{бал}}, \text{ грн/т},$$

де $ФЗП_{осн}$ – фонд основної заробітної плати за професіями, грн; $ФП_{дод}$ – додаткова заробітна плата, грн; $О_{соц}$ – єдиний соціальний внесок, грн; $ФЗП_{ІТП}$ – фонд основної заробітної плати ІТП за час ведення гірничих робіт, грн; $С_{м}$ – вартість матеріалів, грн; $С_{ел.}$ – вартість електроенергії, грн; $С_{ст.п}$ – вартість стисненого повітря, грн; $А$ – сума амортизаційних відрахувань за час роботи обладнання, грн; $З_{р.о}$ – витрати на ремонт і обслуговування обладнання за час гірничих робіт, грн; $А_{бал.}$ – балансові запаси видобувного блока (родовища), т.

Використання до 86% відносної кількості енергії, сконцентрованої в запобіжних капсулах навколо підготовчих виробок, підвищує питому економічну ефективність виконання підготовчих робіт за степеневою залежністю (рис. 8, у цінах 2013 р.):

– до 0,38 грн на 1 п.м підготовчої виробки із запобіжним анкерним кріпленням вибою на шахтах ПАТ «МГЗК»;

– до 0,41 грн на 1 п.м підготовчої виробки зі стійкою формою площини вибою і перерізу, та до 59,21 грн на 1 п.м при визначенні раціональних місць закладання бурових штреків на шахтах ПАТ «КЗРК»;

– до 778,34 грн на 1 п.м при підготовці та нарізанні видобувних блоків із застосуванням стійкої форми і раціонального кріплення виробок на шахтах ПрАТ «ЗЗРК»;

– до 2029 грн на 1 п.м при проведенні підготовчих виробок із застосуванням комбінованого саморегулювального кріплення на шахтах ПАТ «КЗРК».

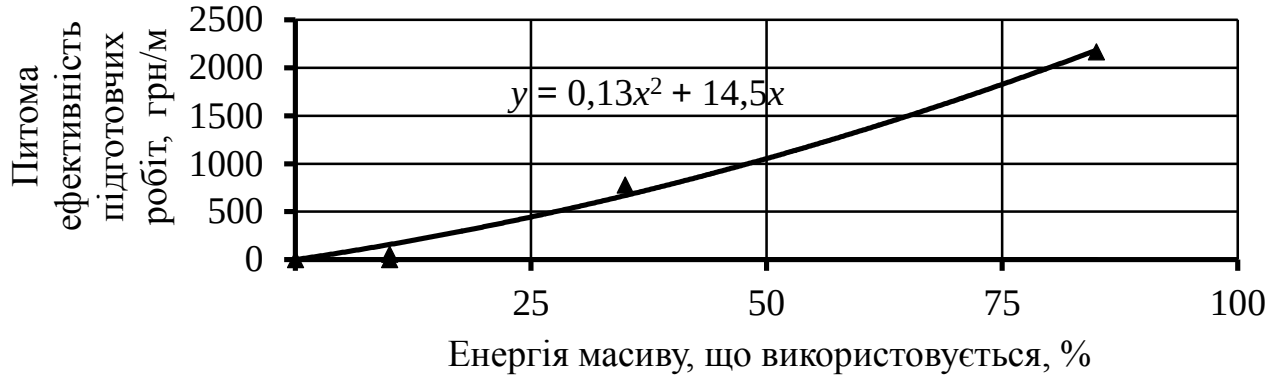


Рисунок 8 – Залежність питомої собівартості підготовчих робіт від енергії масиву, що використовується

Використання до 10% відносної кількості енергії, сконцентрованої навколо очисних камер, підвищує питому економічну ефективність очисних робіт за лінійною залежністю (у цінах 2013 р.):

– до 0,02 грн на 1 т на первинне і вторинне подрібнення руди за рахунок зміни напряму буріння експлуатаційних свердловин на шахтах ПрАТ «ЗЗРК»;

– до 1,24 грн на 1 т на буріння, заряджання і вторинне подрібнення руди за рахунок збільшення відстані між експлуатаційними свердловинами на шахтах ДП «СхідГЗК»;

– до 1,5 грн на 1 т при стійкій формі конструктивних елементів блоків, знижує втрати і збіднення руди за рахунок підвищення стійкості рудних і породних відслонень в очисних камерах шахт ПАТ «КЗРК»;

– до 1,68 грн на 1 т з наданням стійкої форми виробкам підсікання і відрізання, що дозволяє виключити несанкціоновані обвалення руди в очисних камерах на шахтах ПрАТ «ЗЗРК».

Технологія видобування супутніх рудних корисних копалин, на прикладі декоративних джеспілітів Кривбасу реалізована в низькоенергетичних місцях масиву шляхом відставання очисних робіт по джеспілітах від залізних руд, з використанням принципу перенесення, що дозволяє щороку отримувати прибуток по шахті в сумі 68,94 млн грн. Технологія видобування супутніх нерудних корисних копалин на прикладі сірих гранітів Нікополь-Марганецького басейну здійснюється шляхом урахування зміни рівня геоенергії у шахтному полі після відпрацювання балансових запасів замість ліквідації шахти. З використанням принципу усунення досягається економія 2 млн грн, а подовження терміну експлуатації шахти – за рахунок спорудження горизонту з видобутку гранітів дає економічний прибуток у розмірі 12 млн грн на рік. Класифікація родовищ каменесамоцвітної сировини України та класифікація 19 систем за ознакою «енергетичний стан масиву на момент розробки» дозволяє визначити собівартість видобутку сировини і обсяги енерговитрат на розробку родовищ рудних, нерудних і каменесамоцвітних корисних копалин. Собівартість видобутку 1 кг самоцвітів, яка відповідає порядковому номеру системи розробки, зростає за степеневою залежністю до 17,7 грн/кг і супроводжується збільшенням відносної кількості енергії, що витрачається на розробку родовища каменесамоцвітної сировини.

Організація впровадження технічних та організаційних рішень в уранопаливному комплексі України реалізована через концепцію створення в Україні корпоративного веб-ВНЗ «Український ядерний університет», результати співпраці з яким впроваджені в Державному концерні «Ядерне паливо» за участю Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління (м. Київ) і Державної урано-енергетичній компанії «Мон-Атом» через Монгольський університет науки і технології (м. Улан-Батор).

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна науково-практична проблема використання геоенергії в технологіях підземної розробки рудних родовищ на основі систематизації картини явищ, процесів та закономірностей формування капсул у масиві навколо гірничих виробок з визначенням форми, розмірів та кількісті енергетичних зон, синусоїдно-згасаючих напружень і кільцевих підзон деформації масиву за рахунок комплексного врахування геоенергетичних чинників.

Основні наукові та практичні результати, висновки і рекомендації роботи полягають у такому:

1. Встановлено показники зонального структурування масиву навколо гірничих виробок за допомогою промислових, лабораторних та теоретичних методів дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід. Аналіз меж зонального деформування масиву, виявлених натурними методами, доводить, що їх форма для підготовчих та очисних виробок наближається до еліпсоїдної. Зміна глибини руйнування контурів очисних камер відповідає степеневим залежностям, а у прилеглих до них підготовчих виробках – експоненціальним, при загальній достовірності результатів 84%. Дослідження параметрів руйнування масиву виконувалися на моделях, що показали зональну напруженість масиву, еліпсоїдну форму зон, їх центрування і симетричність щодо виробок з достовірністю лабораторних результатів 89 та 88% для результатів теоретичних досліджень.

2. Досліджено процеси впливу ентропії на обмін енергією та розвиток деформацій при формуванні енергетичних потоків у гірських порід, непорушених виробками з використанням і удосконаленням принципів та понять до синергетичних методів дослідження. Це дозволило відтворити на моделях природний енергетичний баланс, у якому за рахунок ентропії реалізується до 50% енергії від зовнішніх напружень, що діють у масиві Українського кристалічного щита. Дослідження зміни вертикальних та горизонтальних потенціальних напружень в гірських породах Криворізького залізорудного басейну дозволило встановити степеневі залежності, що відображають зростання частки впливу ентропії у межах 57 – 95% від загального енергетичного балансу зовнішніх напружень, які діють на глибинах до 3000 м.

3. Досліджено вплив процесів і закономірностей зонального формування капсул навколо гірничих виробок на форми перетворення енергії порушеного масиву в роботу деформування гірських порід. Моделювання за різними фізичними властивостями гірських порід і глибиною залягання, формами та перерізами, габаритними розмірами і видами кріплення під час проведення виробок дозволило встановити, що розміри і форма енергетичних зон описуються системою степеневих залежностей, в яких коефіцієнт форми енергетичних зон змінюється від 1 до 0 за умов зниження міцності гірських порід і збільшення глибини закладання виробок.

4. Встановлено, що шляхом зміни градієнтів напружень, щільності, температури, газо- і водонасиченості порушений масив формує навколо гірничої виробки запобіжну капсулу, приконтурна зона якої є епіцентром розвитку автохвильових синусоїдно-згасаючих коливань градієнтів різних фізичних параметрів. Ці процеси призводять до утворення кільцевих зон термодинамічного балансу і дисбалансу енергії, співвідношення розмірів яких описується степеневими залежностями. Загальна кількість енергетичних зон у запобіжній капсулі описується системою поліноміальних залежностей четвертого порядку, збіжність яких підтверджена результатами аналізу розподілу енергії та маси в подібних системах різних масштабних рівнів, що наближається до 100%.

5. Розроблено геоенергетичні підходи до проектування трас нарізних і підготовчих виробок та обґрунтовано параметри кріплення в статичних умовах капсулювання на базі запропонованих принципів керування енергією запобіжної

капсули: протидія, урівноваження, сприяння, усунення та перенесення. Встановлено, що відносна кількість спрямованої енергії гірського тиску на підтримання гірничих виробок описується параболо-гіперболічною залежністю, на базі чого розроблені геоенергетичні підходи до технології підземної розробки рудних родовищ. Запропоноване тимчасове кріплення вибою підготовчих виробок для шахт ПАТ «МГЗК», що забезпечує повну протидію енергії масиву. Визначення раціональних місць закладання бурових штреків на шахтах ПАТ «КЗРК» супроводжується використанням до 35% енергії масиву. Раціональне розміщення трас закладання і форми поперечного перерізу поверхових та підповерхових польових штреків на шахтах ПрАТ «ЗЗРК» дозволяє використовувати до 35% енергії масиву. Комбінування стійкої форми перерізу підготовчих виробок із саморегулювальним кріпленням для шахт ПАТ «КЗРК» дозволяє використати до 86% енергії, що раніше витрачалася масивом на руйнування виробки.

6. Обґрунтовано технологічні параметри проведення буропідривних і очисних робіт в умовах динамічного деформування масиву в енергетичних підзонах запобіжних капсул шляхом розробки стійкої форми виробок підсікання і відрізання для шахт ПрАТ «ЗЗРК». Для конструктивних елементів блоків на шахтах ПАТ «КЗРК» запропонована еліпсоїдна форма, що виключає самообвалення руди, порід і закладки в очисний простір з нульовим балансом використання і витрат енергії за принципом урівноваження. Запропоновано зміни напрямів буріння експлуатаційних свердловин для шахт ПрАТ «ЗЗРК», а також раціональні відстані між свердловинами для шахт ДП «СхідГЗК», які розраховані із застосуванням принципу сприяння, що дозволяє використовувати до 10% енергії масиву.

7. Розроблено технологічні схеми видобування супутніх корисних копалин у низькоенергетичних підзонах запобіжних капсул, сформованих у шахтних полях з порушеним розподілом енергії масиву. Такі способи перетворення вироблених просторів на шахтах «Ім. Леніна» ПАТ «КЗРК» і «Ювілейна» ПАТ «ЄВРАЗ Суха Балка» дозволяють знижувати енергію масиву до 6 разів за покладами основних і супутніх корисних копалин з річною економічною ефективністю до 600 тис. грн по шахті. Для супутнього видобування джеспілітів в умовах Кривбасу шляхом належного урахування розподілу геоенергії в породах лежачого боку обґрунтовано необхідні міцнісні параметри видобувних блоків за принципом перенесення.

8. Розроблено спосіб відпрацювання супутніх гранітів для умов згортання гірничих робіт на шахтах Нікополь-Марганецького басейну, що реалізується після вилучення запасів марганцевої руди в шахтному полі за принципом усунення. Урахування зниження рівня геоенергії в масиві дозволяє збільшити до 2,5 разів конструктивні параметри очисних блоків, а, також вдвічі знизити витрати на видобування і подовжити термін роботи шахт. Сформована класифікація родовищ самоцвітів і запропонована класифікація систем розробки за ознакою «енергетичний стан масиву на момент розробки» дозволяють вибирати енергоощадну систему видобування самоцвітів.

9. Оцінено економічну ефективність розроблених геоенергетичних підходів до технологій кріплення і видобування, а також реалізоване промислове впровадження в технічні й організаційні проекти розробки вітчизняних і

зарубіжних рудних родовищ шляхом підготовки методики і створення програмного продукту, виконання розрахунків, їх аналізу. Визначено економічну ефективність технологічних рішень з удосконалення підготовчих, нарізних, буропідривних і очисних робіт для шахт ПАТ «МГЗК», ДП «СхідГЗК», ПрАТ «ЗЗРК» та ПАТ «КЗРК» за питомими економічними показниками ефективності гірничих робіт.

10. Створено технологію ефективної розробки супутніх рудних корисних копалин – декоративних джеспілітів Кривбасу, що реалізована шляхом уповільнення очисних робіт по джеспілітах від робіт по залізних рудах, дозволяє отримати прибуток по шахті в обсязі 68,94 млн грн на рік. Технологія видобування супутніх нерудних корисних копалин на прикладі сірих гранітів Нікополь-Марганецького басейну розроблена з метою подовження термінів роботи шахт і здійснюється урахуванням рівня геоенергії у шахтному полі, що дозволяє отримати щорічний прибуток у сумі 12 млн грн. У результаті використання класифікації доступних родовищ каменесамоцвітної сировини України, узагальнення та класифікації 19 систем розробки досягаються рішення, які дозволяють очікувати собівартість видобутку запасів у межах 0,09 – 17,7 грн за кг.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

1. Хоменко О.Е. Технология подземной разработки урановых руд буровзрывным способом: монография / Д.В. Мальцев, О.Е. Хоменко. – Д.: НГУ, 2013. – 110 с.

2. Хоменко О.Е. Технология крепления выработок для камерных систем разработки с закладкой: монография / О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко. – Д.: НГУ, 2010. – 95 с.

3. Хоменко О.Е. Усовершенствование технологии добычи железных руд из охранных целиков: монография / О.Е. Хоменко. – Д.: НГУ, 2007. – 99 с.

Статті, опубліковані у фахових виданнях України та за кордоном:

4. Khomenko O. Analytical modeling of the backfill massif deformations around the chamber with mining depth increase / O. Khomenko, M. Kononenko, M. Petlyovanyi // New Developments in Mining Engineering: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining. – The Netherlands: CRC Press – Balkema, 2015. – P. 265 – 269.

5. Khomenko O. Investigation of stress-strain state of rock massif around the secondary chambers / O. Khomenko, M. Kononenko, M. Petlyovany // Annual Scientific-Technical Collection “Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining”. – Netherlands: CRC Press / Balkema, 2014. – P. 241 – 245.

6. Хоменко О.Е. Лабораторные исследования влияния размеров очистных камер на состояние отбиваемых слоев урановой руды / О.Е. Хоменко, Д.В. Мальцев // Науковий вісник НГУ. – 2013. – № 2. – С. 31 – 37 (*наукометрична база Scopus*).

7. Хоменко О.Е. Обоснование геотехнологических параметров разработки урановых месторождений Монголии / Ж. Билэгсайхан, Д.В. Рудаков,

О.Е. Хоменко [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2013. – № 4. – С. 10 – 18 (*наукометрична база Scopus*).

8. Хоменко О.Е. Технология разработки урановых месторождений Монголии методом скважинного подземного выщелачивания / О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Зб. наук. пр. НГУ. – Д.: РВК НГУ, 2013. – № 42. – С. 74 – 80.

9. Хоменко О.Е. Геотехнологические параметры вскрытия гидрогенных месторождений урана в Монголии / Ж. Билэгсайхан, О.Е. Хоменко, Д.В. Рудаков, Л. Ценджав // Зб. наук. пр. НГУ. – Д.: РВК НГУ, 2013. – № 40. – С. 63 – 69.

10. Хоменко О.Е. Энергетический метод исследования зональной дезинтеграции горных пород / О.Е. Хоменко // Науковий вісник НГУ. – 2012. – № 4. – С. 44 – 54 (*наукометрична база Scopus*).

11. Хоменко О.Е. Монгол улсын ураны үйлдвэрлэл, Цөмийн эрчим хүчний салбарын Өнөөгийн байдал, хөгжлийн хэтийн төлөв / Ж. Билэгсайхан, О.Е. Хоменко, Ц. Лхагва // Уул уурхайн сэтгүүл. Улаан-Баатар: ШУТИС-ийн УУИС, 2011. – № 1. – Х. 25 – 29.

12. Хоменко О.Є. Моделювання на еквівалентних матеріалах деформації масиву навколо первинних камер / О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 6. – С. 18 – 21.

13. Хоменко О.Є. Натурні дослідження поведінки масиву гірських порід навколо первинних очисних камер / О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 9 – 10. – С. 21 – 24.

14. Хоменко О.Е. Управление энергией горных пород при подземной разработке руд / О.Е. Хоменко // Горный журнал. Черные металлы. – 2010. – Спецвыпуск. – С. 41 – 43.

15. Хоменко О.Е. Энергетическая независимость Украины и ее экологическая цена / О.Е. Хоменко, А.П. Дронов // Вісник КТУ. – 2009. – Вып. 23. – С. 34 – 38.

16. Хоменко О.Є. Исследование технологии создания завес с использованием высоконапорных струй / А.Б. Владыко, О.Е. Хоменко // Разработка рудных месторождений. – 2008. – № 92. – С. 68 – 73.

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

18. Хоменко О.Е. Прогнозирование устойчивости очистных камер в условиях фильтрации для ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» / А.Б. Владыко, О.Е. Хоменко, С.А. Козлов // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 2. – С. 13 – 15.

19. Хоменко О.Е. Истоки зонального распределения материи / О.Е. Хоменко // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 3. – С. 29 – 33.

20. Хоменко О.Е. Усовершенствованный способ подготовки очистных блоков для шахт Юно-Белозерского месторождения железных руд / О.Е. Хоменко // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 6. – С. 38 – 40.

21. Хоменко О.Е. Синергетический подход к оценке прочностных свойств горных пород / О.Е. Хоменко // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 7. – С. 29 – 31.

22. Хоменко О.Е. Усовершенствование камерных систем разработки для шахт Криворожского бассейна / О.Е. Хоменко, А.Б. Владыко, С.А. Козлов // Вісник КТУ. – 2007. – Вып. 17. – С. 29 – 32.

23. Хоменко О.Є. Досвід використання бурового, навантажувального та допоміжного обладнання на рудних шахтах світу / О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко, О.А. Долгий // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 1. – С. 18 – 21.

24. Хоменко О.Е. Влияние гидрогеологических факторов на расконсервацию запасов железных руд в условиях Криворожского бассейна / О.Е. Хоменко, А.Б. Владыко // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 2. – С. 12 – 14.

25. Хоменко О.Е. Эффективность учета разгруженности массива в креплении нарезных выработок на шахтах ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» / О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко, Д.В. Мальцев // Разработка рудных месторождений. – 2006. – № 90. – С. 58 – 61.

26. Хоменко О.Е. Эффективность селективной добычи железных руд в условиях Криворожского бассейна / О.Е. Хоменко, А.Б. Владыко, В.Н. Яворский // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 6. – С. 15 – 17.

27. Хоменко О.Е. Технологія видобування джеспіліту на шахтах Криворізького залізорудного басейну / О.В. Колоколов, О.Є. Хоменко, М.В. Нетеча // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 7. – С. 3 – 7.

28. Хоменко О.Є. Система підготовки спеціалістів вищої кваліфікації у Національному гірничому університеті / О.Є. Хоменко // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 8. – С. 65 – 67.

29. Хоменко О.Е. Пути повышения устойчивости обнажений для конструктивных элементов камерных систем разработки / О.Е. Хоменко // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 1. – С. 3 – 7.

30. Хоменко О.Е. Снижение напряженности охранного целика преобразованием выработанного пространства / О.Е. Хоменко, Р.Е. Дычковский, В.Н. Яворский [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 2. – С. 3 – 6.

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

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

33. Хоменко О.Е. Технология крепление подготовительных выработок в условиях Южно-Белозерского железорудного месторождения / В.И. Бондаренко, О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 8. – С. 3 – 6.

34. Хоменко О.Е. 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.

35. Хоменко О.Є. 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.

36. Хоменко О.Е. Характер изменения напряженно-деформированного состояния массива у границ локальных полей напряжений / Р.Е. Дычковский, О.Е. Хоменко, С.Л. Денисов [та ін.] // зб. наук. пр. НГУ. – Д.: РИК НГУ, 2004. – № 19. Т. 1. – С. 55 – 60.

37. Німецький досвід удосконалення виконавчих органів прохідницьких та очисних комбайнів / О.Є. Хоменко, Р.О. Дичковський, С.П. Григор'єв [и др.] // зб. наук. пр. НГУ. – Д.: РИК НГУ, 2004. – № 19. Т. 3. – С. 250 – 254.

38. Хоменко О.Е. Экономическая эффективность очистных работ в разгруженных областях охранных целиков / О.Е. Хоменко, Р.Е. Дычковский, О.Б. Владыко [и др.] // зб. наук. пр. НГУ. – Д.: РИК НГУ, 2004. – № 20. – С. 66 – 70.

39. Хоменко О.Е. Пути повышения эффективности работы шахт Криворожского железорудного бассейна / О.Е. Хоменко, В.Н. Почепов, В.И. Сулаев [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 6. – С. 3 – 5.

40. Хоменко О.Е. Синергетический подход в исследовании производственных процессов при добыче руд подземным способом / О.Е. Хоменко, В.В. Русских, М.В. Нетеча и др. // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 7. – С. 3 – 5.

41. Хоменко О.Е. Моделирование на эквивалентных материалах выработанного пространства рудных шахт / О.Е. Хоменко, В.В. Русских, М.Н. Кононенко // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 9. – С. 23 – 25.

42. Хоменко О.Е. Пути снижения горного давления в охранных целиках на шахтах Криворожского железорудного бассейна / О.Е. Хоменко, Р.Е. Дычковский, А.Б. Владико [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 10. – С. 6 – 8.

43. Хоменко О.Е. Прогнозирование удароопасности массива на глубоких горизонтах железорудных шахт / О.Е. Хоменко, В.Н. Яворский, М.Н. Кононенко [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 11. – С. 9 – 10.

Патенти на винаходи:

44. Пат. на винахід 108639 Україна, МПК E42F 1/10. Спосіб видобування корисних копалин буропідривним способом / О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко, І.Г. Миронова, Д.В. Мальцев; заявник і патентовласник НГУ. – № a201211588; заявл. 22.10.12; опубл. 25.05.15, Бюл. № 10.

45. Пат. на винахід 101217 Україна, МПК E21C 41/22. Спосіб видобування корисних копалин буропідривним способом / М.М. Кононенко, О.Є. Хоменко, І.Г. Миронова; заявник і патентовласник НГУ. – № a201104028; заявл. 04.04.11; опубл. 11.03.13, Бюл. № 5.

46. Пат. на винахід 91709 Україна, МПК E21C 41/16. Спосіб видобування корисних копалин / О.Є. Хоменко, М.В. Нетеча; заявник і патентовласник НГУ. – № 200801787; заявл. 11.02.08; опубл. 25.08.10, Бюл. № 16.

47. Пат. на винахід 90544 Україна, МПК E21C 41/16. Спосіб видобування корисних копалин / О.Є. Хоменко; заявник і патентовласник НГУ. – № 200805530; заявл. 29.04.08; опубл. 11.05.10, Бюл. № 9.

Основні публікації в матеріалах конференцій:

48. Khomenko O. Geotechnical Parameters for Exploitation Hydrogenous Uranium Deposits in Mongolia / O. Khomenko, J. Bilegsaikhan, B. Bat-Ochir, O. Khomenko, Ts. Lkhagva // The international Conference on industrial convergence technology: Asan, Korea: SCHU, 2014. – P. 315 – 319.

49. Khomenko O. Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere / O. Khomenko, M. Kononenko, I. Myronova // School Underground Mining: Mining of Mineral Deposits. – Netherlands: CRC Press Balkema, 2013. – P. 231 – 235.

50. Khomenko O. Imitating modeling Stability of mine workings / O. Vladyko, M. Kononenko, O. Khomenko // Scholl Underground Mining: New techniques and technologies in mining. – Netherlands: CRC Press Balkema, 2012. – P. 147 – 150 (*наукометрична база Scopus*).

51. Хоменко О.Е. Феномен зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / О.Е Хоменко // Форум гірників: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: РВК НГУ, 2012. – Т. 1. – С. 23 – 29.

52. Хоменко О.Е. Самоцветы Украины: месторождения, технологии и себестоимость добычи / О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко // Геомеханічні аспекти та екологічні наслідки відпрацювання рудних покладів: наук.-техн. зб. – Кривий Ріг: НДГРІ ДВНЗ «КНУ», 2012. – С. 107 – 110.

53. Хоменко О.Е. Исследование условий залегания, состава и свойств урановых месторождений Монголии / О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Форум гірників: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: РВК НГУ, 2012. – Т. 3. – С. 120 – 125.

54. Khomenko O. Automation of drill and blast design / O. Khomenko, D. Rudakov, M. Kononenko // Scholl Underground Mining: New techniques and technologies in mining. – Netherlands: CRC Press Balkema, 2011. – P. 271 – 275 (*наукометрична база Scopus*).

55. Khomenko O. Technology of support of workings near to extraction chambers / M. Kononenko, O. Khomenko // Scholl Underground Mining: New techniques and technologies in mining. – Netherlands: CRC Press Balkema, 2010. – P. 193 – 197 (*наукометрична база Scopus*).

56. Хоменко О.Е. Автоматизация проектирования паспортов буровзрывных работ путем оптимизации размещения шпуров / О.Е. Хоменко, Д.В. Рудаков, М.Н. Кононенко / Форум гірників: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: РВК НГУ, 2011. – С. 39 – 43.

57. Хоменко О.Е. Подготовка кадров для предприятий ядерно-топливного цикла Украины / О.Е. Хоменко // Кадрове забезпечення гірничо-металургійного комплексу України: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – С. 148 – 151.

58. Хоменко О.Е. Современное состояние и тенденции развития урановой отрасли Монголии / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав / Школа підземної розробки: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Ялта: Арт-Пресс, 2011. – С. 122 – 125.

59. Khomenko O. The first Ukrainian corporative university / O. Khomenko, D. Rudakov // Scholl Underground Mining: New techniques and technologies in mining. – Netherlands: CRC Press Balkema, 2010. – P. 203 – 206 (*наукометрична база Scopus*).

60. Хоменко О.Є. Кадровий потенціал ядерного ренесансу України / О.Є. Хоменко // Форум гірників: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: РВК НГУ, 2010. – Т. 1. – С. 164 – 166.

61. Хоменко О.Є. Ядерно-паливна енергетика України: учора, сьогодні, завтра / О.Є. Хоменко // Школа підземної розробки: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Ялта: Арт-Пресс, 2009. – С. 321 – 328.

62. Хоменко О.Є. Использование современных Internet-технологий в популяризации горнорудного дела Украины / О.Е. Хоменко, А.Б. Владыко, М.Н. Кононенко [и др.] // Школа підземної розробки: матеріали міжнар. наук.-практич. конф. – Ялта: Арт-Пресс, 2009. – С. 589 – 593.

63. Хоменко О.Є. Корпоративний ядерний університет – кадрова основа енергетичної незалежності України / О.Є. Хоменко, П.В. Швидько, Д.В. Рудаков // Форум гірників: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: РВК НГУ, 2009. – С. 19 – 24.

64. Хоменко О.Є. Досягнення наукових шкіл НГУ у створенні енерго- та ресурсозберігаючих технологій / О.С. Бешта, П.І. Пілов, О.Є. Хоменко // Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми та перспективи розвитку: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Кривий Ріг, 2009. – С. 4 – 10.

65. Хоменко О.Є. Повторная отработка запасов Южно-Белозерского месторождения в сложных гидрогеологических условиях / Д.В. Рудаков, О.Е. Хоменко, О.Б. Владыко // Школа підземної розробки: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Ялта: Арт-Пресс, 2008. – С. 193 – 198.

66. Хоменко О.Е. Истоки зонального распределения материи во Вселенной / О.Е. Хоменко // Человек и космос: материалы междунар. научн.-практ. конф. – Д.: Нац. космическое агентство Украины, 2008. – С. 588.

67. Хоменко О.Е. О целесообразности закрытия марганцеворудных шахт Украины / О.Е. Хоменко, А.Б. Владыко, Н.В. Хоменко // Форум гірників: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: РВК НГУ, 2008. – Т. 1 – С. 129 – 134.

68. Хоменко О.Е. Синергетика в управлении состоянием массива горных пород / О.Е. Хоменко, А.Б. Владыко // Форум гірників: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: РВК НГУ, 2007. – С. 67 – 71.

69. Хоменко О.Є. Система ресурсозберігаючих технологій видобування, обробки та використання у будівництві нових декоративних матеріалів / О.Є. Хоменко // Школа підземної розробки: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Ялта: Арт-Пресс, 2007. – С. 263 – 268.

70. Хоменко О.Е. Пути ресурсосбережения при добыче железных и урановых руд в Украине / О.Е. Хоменко, А.Б. Владыко, М.Н. Кононенко [и др.] // Форум гірників: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: РВК НГУ, 2006. – Т. 1. – С. 122 – 124.

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

72. Хоменко О.Є. Заходи підвищення ефективності науково-дослідної роботи у підготовці студентів до магістратури та аспірантури / Г.Г. Півняк, В.І. Бондаренко, О.Г. Кошка, О.Є. Хоменко // Впровадження галузевих стандартів – запорука якісної підготовки фахівців гірничо-металургійного профілю: матеріали міжвузівськ. наук.-методичн. конф. – Кривий Ріг: КТУ, 2005. – С. 11 – 14.

73. Хоменко О.Е. Перспективы добычи крупноблочного облицовочного и художественно-декоративного сырья в Криворожском железорудном бассейне / В.И. Бондаренко, О.В. Колоколов, О.Е. Хоменко [и др.] // Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Кривий Ріг: КТУ, 2004. – С. 27 – 31.

Особистий внесок автора в роботи, опубліковані у співавторстві: [3, 10, 14, 15, 19 – 21, 24 – 30, 32, 37 – 43, 46, 47, 51, 57, 59, 60 – 62, 69, 71, 73] – проведення досліджень і оформлення результатів; [1, 2, 4 – 9, 11 – 13, 17, 18, 22, 23, 31, 33 – 35, 44, 45, 49, 52, 54 – 56, 58, 63 – 68, 70] – постановка завдань і аналіз результатів досліджень; [16, 36, 50, 72] – підготовка матеріалів.

АНОТАЦІЯ

Хоменко О.Є. Геоенергетичні основи розробки рудних родовищ. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин. – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», МОН України, Дніпропетровськ, 2015.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню наукової проблеми з відкриття, описання та використання феномену зонального капсулювання гірничих виробок у геоенергетичних підходах до технології розробки рудних родовищ. На основі проведення промислових, лабораторних та теоретичних досліджень формування зональних капсул навколо гірничих виробок удосконалена існуюча класифікація методів дослідження напружено-деформованого стану гірських порід за рахунок доопрацювання ентропійного методу та розробки енергетичного. За допомогою нових методів було реалізоване системне урахування градієнтів напружень, щільності, температури та інших чинників енергетичного стану масиву з утворенням кільцевих енергетичних зон, їх кількісті, розмірів і форми, синусоїдно-згасаючих напружень і кільцевих підзон деформації, на базі яких були описані механізми формування запобіжних капсул навколо виробок.

Виявлено, що енергія капсули, сформованої навколо гірничої виробки, витрачається згідно з параболо-гіперболічною залежністю, значення якої відповідають обґрунтованим методологічним принципам: протидії, урівноваження, сприяння, усунення та перенесення сконцентрованої енергії масиву, на яких базуються запропоновані технологічні рішення. Це дозволило створити технології підготовчих та очисних робіт, що використовують до 86% енергії гірського тиску, з підвищенням ефективності й обсягів видобутку рудної, супутньої та каменесамоцвітної сировини в Україні та за кордоном. Встановлено, що кількість використовуваної енергії масиву призводить до зростання економічної ефективності підготовчих робіт за степеневою залежністю, а очисних – за лінійною.

Ключові слова: енергія гірського тиску, напружено-деформований стан масиву, синергетичні методи дослідження, запобіжна капсула виробки, методологічні принципи керування, геоенергетичні технології розробки.

АННОТАЦИЯ

Хоменко О.Е. Геоэнергетические основы разработки рудных месторождений. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», МОН Украины, Днепропетровск, 2015.

Диссертация посвящена решению научной проблемы по открытию, описанию и использованию феномена зонального капсулирования горных выработок в геоэнергетических принципах технологии разработки рудных месторождений. На основе проведения промышленных, лабораторных и теоретических исследований формирования зональных капсул вокруг горных выработок усовершенствована существующая классификация методов исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород за счет усовершенствования энтропийного метода и разработки энергетического. Выделение в отдельный метод исследования – энтропийный – выполнено благодаря усовершенствованию части термодинамической теории, путем учета процессов перераспределения энергетических потоков и обмена энтропии в элементарной системе минерального вещества. Создание энергетического метода реализовано по средствам разработки энергетической теории, которая описала процессы, закономерности и параметры зонального капсулирования горных выработок.

С помощью новых методов исследования был выполнен системный учет градиентов напряжений, плотности, температуры и других факторов энергетического состояния массива с образованием кольцевых энергетических зон, их количества, размеров и формы, синусоидально-затухающих напряжений и кольцевых областей деформации, на основе которых были описаны механизмы формирования вокруг выработок предохранительных капсул. Форму энергетических зон предложено определять по коэффициенту формы, который при снижении прочности горных пород и увеличении глубины разработки изменялся от 1 до 0 и описывается системой степенных зависимостей. Моделирование различных физических состояний горных пород и глубин заложения, формы и сечения, габаритных размеров и видов крепления горных выработок позволило установить степенные зависимости, описывающие размеры энергетических зон, в которых соотношение размеров смежных зон является константой. Установлено, что количество энергетических зон, входящих в предупредительную капсулу выработки, описывается системой полиномиальных зависимостей четвертого порядка.

Выявлено, что энергия капсулы, сформированной вокруг горной выработки, расходуется согласно параболо-гиперболической зависимости, значения которой соответствуют обоснованным принципам: противодействия, уравновешивания, содействие, устранения и перенесения сконцентрированной энергии массива, на которых базируются предложенные технологические решения. Эффективный выбор и использование разработанных геоэнергетических технологий обеспечивается их систематизацией по принципу управления энергией предохранительной капсулы (противодействие, уравновешивание, содействие,

устранение и перенесение), количеству используемой энергии в технологиях (0 – 86%), виду горных работ (подготовительные, очистные), глубине горных работ (100 – 3000 м) на горнодобывающих предприятиях (ПАО «Криворожский ЖРК», ЧАО «Запорожский ЖРК», ГП «Восточный ГОК» и ПАО «Марганецкий ГОК»).

Предложенные пути усовершенствования подготовительных работ включали разработку временного крепления забоя подготовительных выработок, что реализуется со 100% противодействием энергии капсулы. Использование до 10% энергии массива в соответствии с принципом устранения возможно за счет заложения трасс выработок по эллипсоидным границам приконтурных энергетических зон вокруг очистных камер. Использования до 35% энергии массива в соответствии с принципом устранения возможно добиться при заложении подэтажных буровых штреков за областью интенсивного разрушения пород. Придание эллипсоидных контуров плоскости забоя и сечению подготовительных выработок позволяет повысить устойчивость обнажений, а дополнительное использование саморегулируемого крепления – использовать до 86% энергии, генерируемой в предохранительной капсуле выработки. Разработанные технологические решений по усовершенствованию очистных работ включали определение устойчивой формы выработок подсечки и отрезки. Максимально устойчивая форма конструктивных элементов блоков на глубоких горизонтах рудных шахт достигается путем придания контурам эллипсоидных форм по принципу уравновешивания, что реализуется без дополнительных затрат энергии. Рациональное направление бурения эксплуатационных скважин в приконтурной к очистной камере зоне содействует первичному дроблению руды, за счет увеличения расстояния между концами скважинами, что позволяющее использовать до 10% энергии массива.

Выполненная систематизация технологических решений по управлению выработанным пространством шахт при отработке залежей Кривбасса позволяет учитывать техногенные факторы, влияющие на энергетическое состояние массива, и показывает пути его минимизации. Помимо основных технологических решений, позволяющих снизить или видоизменить техногенную нагрузку возможен более точный учет техногенеза в массиве, на базе которого обоснована возможность добычи сопутствующих джеспилитов в условиях Кривбасса. Для условий затухания горных работ в отводах шахтных полей Никополь-Марганецкого бассейна разработан способ отработки сопутствующих гранитов. Также разработаны технологии добычи камнесамоцветного сырья в условиях техногенеза недр. Установлено, что количество используемой энергии массива приводит к росту экономической эффективности подготовительных работ по степенной зависимости, а очистных – по линейной. Это позволило заложить геоэнергетические принципы в технологии горных работ, использующие до 86% энергии горного давления, с повышением эффективности и объемов добычи рудного, сопутствующего и камнесамоцветного сырья в Украине и за рубежом.

Ключевые слова: энергия горного давления, напряженно-деформированное состояние массива, синергетические методы исследования, предохранительная капсула выработки, методологические принципы управления, геоэнергетические технологии разработки.

ABSTRAKT

Khomenko O.Ye. Geo-energy fundamentals of mining ore deposits. – Manuscript.

Thesis for a Doctor's degree in Technical Sciences on speciality 05.15.02 – «Underground mining of mineral deposits». – State higher educational institution «National Mining University», Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnepropetrovsk, 2015.

The thesis deals with solving of the scientific problem of discovery, description and use of the phenomenon of zonal encapsulation of underground excavations in a geo-energy technology of mining ore deposits. The available classification of research methods for stress-strain state of the rocks has been upgraded on the basis of industrial, laboratory and theoretical studies of the phenomenon of zonal encapsulation underground excavations using improving the existing entropy method and development of the energy method. Using new techniques was made possible a systematic account for stress gradients, density, temperature and other factors of the energy of rocks with the formation of a ring-like energy zones, their number, size and shape, sinusoidal damped stresses and ring deformation areas. It allows to describe the mechanisms of preventive capsule formation around underground excavations.

The energy of a capsule formed around the excavation is governed by the parabolic-hyperbolic law that corresponds with the proposed methodological principles of counterstand, equilibration, promotion, transfer and removal of concentrated energy of rocks, which are the base of the proposed engineering solutions. It allows to create the technologies of preparatory and clearing works that use up to 86% of the energy of rock pressure, and increasing the efficiency and volumes of mined ores, gems and by-pass raw materials in Ukraine and abroad. It has been established that the amount of used rock energy leads to the growth of economic efficiency of the preparatory works by the parabolic law and that of cleaning works by the linear correlation.

Key words: rock pressure energy, stress-strain state of rocks, synergetic research methods, preventive capsule of an excavation, methodological principles of control, geo-energy technologies of mining.

ХОМЕНКО Олег Євгенович

ГЕОЕНЕРГЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ РУДНИХ РОДОВИЩ

(Автореферат)

Підписано до друку 16.11.15 р. Формат 60×90/16
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,9
Обл.-вид. арк. 1,9. Наклад 100 прим. Зам. № 754

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