

chamber. The deviation of the properties of the filling mixture from certain technological requirements has been established, namely a wide non-constant range of the fineness grinding of the cementitious matter and the stoppage time of the filling mixture feed for stopping the drainage of water.

Originality. It is established that the strength of the backfilling massif in the extraction chamber varies nonlinearly with the concentration of dips on the convexities of its strength distribution curve. Taking into account the established dependence in determining the technological parameters of the filling mixture allows reducing the formation of the filling massif, to increase its resistance to the outcropping and to reduce clogging of the ore.

Practical implications. On the basis of the conducted researches, it is possible to predict the areas of dumping of the backfilling massif, to optimize the technological process of backfilling operations to form a homogeneous in the strength of the backfilling massif, and also to adjust the parameters of the ore breaking on contact with the backfilling massif to prevent seismic action.

Keywords: filling massif, ore deposits, filling mixture, failure area

УДК 622.831.24.001

© О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко

ФЕНОМЕН КАПСУЛЮВАННЯ ПІДЗЕМНОЇ ВИРОБКИ: ВИЯВЛЕННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ВИКОРИСТАННЯ

© О. Khomenko, M. Kononenko

PHENOMENON OF UNDERGROUND WORKING ENCAPSULATION: IDENTIFICATION, MODELING & APPLIANCE

Розкрито, описано та використано феномен зонального капсулювання підземних виробок шляхом розробки та використання синергетичних методів дослідження, системного урахування енергетичних чинників і описання механізмів формування запобіжних капсул, що дозволило створити технології розробки рудних родовищ, які використовують до 86% геоенергії та заощаджують до 37% ресурсів.

Раскрыт, описан и применен феномен зонального капсулирования подземных выработок путем разработки и использования синергетических методов исследования, системного учета энергетических факторов и описания механизмов формирования предохранительных капсул, что позволило создать технологии разработки рудных месторождений, использующих до 86% геознергии и экономящих до 37% ресурсов.

Вступ. 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 займалися науковці з України, Росії, Німеччини, Австрії, Швейцарії, Франції, Англії, США, Канади, ЮАР та інших країн світу [1]. 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 без виключення 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 [2].

Постановка завдання. Визначення предмета дослідження ґрунтувалося на удосконаленні класифікації теорій про гірський тиск навколо підземних виробок, які поєднані у три класи: сил, деформацій і стану масиву. Аналіз наукових результатів і основних недоліків теорій про гірський тиск 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. Існуюча 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 підземних виробок [3].

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 [4]. 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.

Основний матеріал. 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. Інші форми вияву зонального структурування масиву навколо гірничих виробок відсутні [5].

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. 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 [6].

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. 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 використання цього методу відсутня можливість визначення стану масиву за межами зони № 1 [7].

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 [8].

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 напрямках, які співпадають з вертикальними і горизонтальними енергетичними 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%. 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% [9].

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, а при дивергенції – підзони дезінтеграції. Конвергенція та дивергенція масиву протидіє формуванню в ньому підземної виробки та відновлює свою цілісність за рахунок її капсулювання системою кільцевих енергетичних зон. Гірнична 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. Від контуру виробки до межі капсули амплітуда напружень зменшується, а період дії напружень збільшується, що призводить до руйнування порід у приконтурних зонах (зонах енергетичного дисбалансу) і незначного підвищення напружень у замикаючих капсулу зонах, де енергія збалансована (зонах енергетичного балансу) [8].

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

$$a_n = a_{n+1} - a_n; b_n = b_{n+1} - b_n; c_n = c_{n+1} - c_n \rightarrow a_n = 0,5e^{0,7n}. \quad (1)$$

Значення радіальних σ_p і тангенціальних τ_p напружень, що діють у масиві навколо підземної 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

$$\sigma_{pn} = \sigma_{cn} - \sigma_{\alpha\beta n}; \tau_{pn} = \tau_{cn} - \tau_{\alpha\beta n}. \quad (2)$$

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

$$\varepsilon_{\sigma n} = \sigma_{pn} / E; \varepsilon_{\tau n} = \tau_{pn} / E. \quad (3)$$

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

$$\sigma_{pin} = \sigma_{pn} + \sigma_m + \sigma_{in}; \tau_{pin} = \tau_{pn} + \sigma_m + \sigma_{in}. \quad (4)$$

Кількість зон енергетичного балансу залежить від міцнісних властивостей гірських порід і глибини гірничих робіт, що впливають на рівень зміни напру-

жень, температури, щільності й інших чинників енергетичної інтенсивності. При досягненні межі міцності порід на стиснення або розтяг у масиві зони енергетичного балансу, вона перестає сприймати повне навантаження від об'ємного стиснення порід і переходить у стан енергетичного дисбалансу. 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 енергетичного дисбалансу, перевищують гранично допустимі на розтяг або стиснення. Різницю між чинними та граничними напруженнями відображає коефіцієнт запасу міцності n . Руйнівне (поза межне) деформування масиву визначається за межами міцності породи на розтягнення σ_{pg} і стиснення τ_g , МПа

$$\sigma_{pgn} = 0,13K_{co}\sigma_{cm}; \tau_{gn} = 0,15K_{co}\sigma_{cm}, \quad (5)$$

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 поза межної 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 енергетичного дисбалансу. Деформування порід у черговій зоні енергетичного дисбалансу призводить до формування і перенесення навантаження на нову зону енергетичного балансу. Тобто для визначення кількості енергетичних зон необхідно виконати моніторинг усіх точок на розрахункових площинах у зонах енергетичного балансу і дисбалансу за умови протидії масиву розтягу і стиску, що при $n_p, n_\tau \leq 1$ сприяє формуванню чергової зони, раз

$$n_{pn} = \sigma_{pgn} / \sigma_{pm} \leq 1; n_m = \tau_{gn} / \tau_{pm} \leq 1. \quad (6)$$

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

$$N_1 = N_p + 1; N_2 = N_\tau + 1, \quad (7)$$

де N_p і N_τ – порядкові номери зон, в яких не виконуються умови міцності на розтягнення n_p і стиснення n_m 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 енергетичного дисбалансу енергії. У приконтурній зоні неможливе досягнення кільцевої міцності через її однобічність за рахунок наявності виробки. Це призводить до енергетичного дисбалансу, проявами якого є вивали з покрівлі, боків та підняття підшви 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 енергетичного дисбалансу і балансу.

Значення напружень у замикаючій зоні енергетичного балансу визначаються як різниця між максимальними напруженнями, що діють в останній зоні енергетичного 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

$$\sigma_{pn} = \sigma_{pg} - \sigma_{pm} > 0; \tau_m = \tau_g - \tau_{pm} > 0. \quad (8)$$

Збільшення кількості енергетичних зон у запобіжній капсулі N на глибині закладання підготовчої виробки H відбувається при зниженні міцності гірських порід в інтервалі $\sigma_{cm} = 40 - 200$ МПа і збільшенні глибини розробки до 5000 м, для яких були встановлені значення коефіцієнтів a , b , c і d , які враховують ці зміни: $a = 0,0018$, $b = 0,0116$, $c = 0,0246$, $d = 0,0107$. Загальне рівняння кількості енергетичних зон в запобіжній капсулі виробки має вид, шт.

$$N = a\sigma_{cm}H^4 - b\sigma_{cm}^{1.05}H^3 + c\sigma_{cm}^{1.094}H^2 - d\sigma_{cm}^{1.16}H. \quad (9)$$

Виконані промислові, лабораторні та теоретичні дослідження за допомогою відомих і нових 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 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_m , а також враховувалась конструкція кріпильної системи в підготовчих виробках та умови відбивання шарів руди в очисних камерах. Енергія запобіжної капсули, що сформувалася навколо підземної виробки, витрачається згідно з парабологіперболічною залежністю, значення якої відповідають принципам протидії,

урівноваження, сприяння, усунення та перенесення сконцентрованої енергії масиву, на базі яких запропоновано технологічні рішення. 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 монтується і демонтується в приконтурній зоні капсули при 100% протидії енергії масиву. 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». 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, 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.

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. Максимально стійка форма конструктивних елементів блоків (днищ, міжкамерних і міжповерхових ціликів) 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. Раціональні напрями буріння експлуатаційних свердловин у прилеглий до очисної камери зоні сприяє більш якісному первин-

ному подрібненню руди в камерах шахт ПрАТ «ЗЗРК» і дозволяє використовувати до 10% енергії масиву і знизити обсяг експлуатаційних свердловин і вибухових речовин. Порядок ведення буропідричних 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» [9].

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). Використання до 86% відносної кількості енергії, сконцентрованої в запобіжних капсулах навколо підготовчих виробок, підвищує питому економічну ефективність виконання підготовчих робіт за степеневу залежністю: до 0,05 \$ на 1 п.м підготовчої виробки із запобіжним анкерним кріпленням вибою на шахтах ПАТ «МГЗК»; до 0,05 \$ на 1 п.м підготовчої виробки зі стійкою формою площини вибою і перерізу, та до 7,4 \$ на 1 п.м при визначенні раціональних місць закладання бурових штреків на шахтах ПАТ «КЗРК»; до 97,29 \$ на 1 п.м при підготовці та нарізанні видобувних блоків із застосуванням стійкої форми і раціонального кріплення виробок на шахтах ПрАТ «ЗЗРК»; до 253,62 \$ на 1 п.м при проведенні підготовчих виробок із застосуванням комбінованого саморегульовального кріплення на шахтах ПАТ «КЗРК». Використання до 10% відносної кількості енергії, сконцентрованої навколо очисних камер, підвищує питому економічну ефективність очисних робіт за лінійною залежністю: до 0,001 \$ на 1 т на первинне і вторинне подрібнення руди за рахунок зміни напрямку буріння експлуатаційних свердловин на шахтах ПрАТ «ЗЗРК»; до 0,15 \$ на 1 т на буріння, заряджання і вторинне подрібнення руди за рахунок збільшення відстані між експлуатаційними свердловинами на шахтах ДП «СхідГЗК»; до 0,19 \$ 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 0,21 \$ 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» [10].

Висновки

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.

2. Досліджено процеси впливу ентропії на обмін енергією та розвиток деформацій при формуванні енергетичних потоків у гірських порід, непорушених виробками. 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. 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 підземної виробки запобіжну капсулу, приконтурна зона якої є епіцентром розвитку автохвильових синусоїдно-згасаючих коливань градієнтів різних фізичних параметрів. Ці процеси призводять до утворення кільцевих зон енергетичного балансу і дисбалансу, співвідношення розмірів яких описується степеневими залежностями. Загальна кількість енергетичних зон у запобіжній капсулі описується системою поліноміальних залежностей четвертого порядку.

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. Обґрунтовано технологічні параметри проведення буропідричних і очисних робіт в умовах динамічного деформування масиву в енергетичних підзонах запобіжних капсул шляхом розробки стійкої форми виробок підсікання і відрізання. Встановлено, що відносна кількість спрямованої енергії гірського тиску на підтримання гірничих виробок описується параболо-гіперболічною залежністю.

6. 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, буропідричних і очисних робіт для шахт ПАТ «МГЗК», ДП «СхідГЗК», ПрАТ «ЗЗРК» та ПАТ «КЗРК» за питомими економічними показниками ефективності гірничих робіт.

Перелік посилань

1. Хорольский А.О., Гринев В.Г., Сынков В.Г. Вибір комплексів гірничо-шахтного обладнання на основі теорії графів // *Вісник НТУУ «КПІ»*, 2016. – № 31, С.57 – 64.
2. Хоменко О.Е., Ляшенко В.И., Повышение безопасности добычи руд на основе использования геоэнергии // *Безопасность труда в промышленности*, 2017. – № 7, С. 18 – 24.
3. Четверик М.С. Добыча угля и руды на глубоких горизонтах шахт и карьеров // *Уголь Украины*, 2013. – № 5, С. 3 – 7.
4. Открытие № 188 Украина. Явление образования перемещающихся нарушенных зон в напряженных горных породах / В.Я. Кириченко, Е.Л. Звягильский, А.В. Лишин и др. // *Сборник научных открытий, идей, гипотез.* – М.: РАЕН, 2002. – С. 62 – 63.
5. Khomenko, O., Kononenko, M., Netecha, M. Industrial research into massif zonal fragmentation around mine workings // *Mining of Mineral Deposits*, 2016. – 10(1), P. 50 – 56.
6. Хоменко О.Е., Кононенко М.Н., Дронов А.П. Лабораторные исследования зонального структурирования массива вокруг горных выработок // *Физико-технические проблемы горного производства*, 2016. – № 18, С. 22 – 30.
7. Kononenko, M., Khomenko, O., Sudakov, A., Drobot, S., Lkhagva, Ts. Numerical modelling of massif zonal structuring around underground working // *Mining of Mineral Deposits*, 2016 – 12(3), P. 101 – 106.
8. Khomenko, O. Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2012. – № 4, P. 44 – 54.
9. Хоменко О.Е. Управление энергией горных пород при подземной разработке руд, *Горный журнал. Черные металлы*, Спецвыпуск, 2010 – С. 41 – 43.
10. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits // О.Ye. Khomenko, А.К. Sudakov, Z.R. Malanchuk, Ye.Z. Malanchuk // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* y, 2017. – № 2, P. 35 – 43.
11. Khomenko, O., Kononenko, M., Astafiev, D. Effectiveness of Geo-Energy Usage during Underground Mining of Deposits // *Advanced Engineering Forum*, 2017. – Vol. 22, P. 100 – 106.

ABSTRACT

Purpose. To substantiate principles of rock pressure usage during underground mining of deposits.

The methodology. Establishment of zonal structuring indices of massif around mine workings with help of industrial, laboratory and theoretical research of stress-strain state of rock massif is executed. Research of entropy influence on energy exchange and deformations developments in undisturbed rock massif is executed with help of entropy method. Research of preventive capsules formation processes around mine workings and forms of energy transition into work of rock deformation is executed with help of energy method. Development of geo-energy approaches for the choice of development workings pathways and calculation of their bolting parameters and also substantiation of stoping operations conducting parameters in energy zones of preventive capsules is executed one estimation of geo-energy technologies effectiveness and realization of industrial implementation during underground mining of deposits.

Findings. Physical essence of zonal capsulation phenomena of mine workings is revealed. Geo-energy principles of rock pressure energy usage are substantiated. Resource-saving technologies of mining of mineral deposits are created and implemented into production.

The originality. Systematization of phenomena picture, capsulation processes and regularities by massif of mine workings with determination of shape, sizes, quantity of energy zones, sinusoidal-damping stresses and ring modules of deformation by means of complex account of geo-energy

factors that allow to use energy of rock pressure in underground mining technologies systematically.

Practical implications. Development of energy theory of zonal capsulation parameters research of mine workings: shapes, sizes, quantity and conditions of formation of energy zones and borders of possible destruction of the massif. Establishment of power dependences of changing the sizes of adjacent power zones which ratio is a constant from the sizes and shape, depth of laying and physical properties of massif that containing mine working. Improvement of thermodynamic theory of massif that doesn't disturbed by workings by means of taking into account the processes of geo-energy streams redistribution and entropy exchanging with allocation into undisturbed massif in a separate entropy method of research. Further development of the sinusoidal-fading dependence of auto-wave fluctuations of stresses in massif that broken by mine workings from gradients of density, temperature, gas-and water saturations of rocks is given.

Keywords: *rock pressure energy, stress-strain state of rocks, synergetic research methods, preventive capsule of mine working, methodological principles of control, geo-energy technologies of mining*