

## Повышение безопасности добычи руд на основе использования геоэнергии



**О.Е. Хоменко,**  
д-р техн. наук,  
доцент

Национальный горный университет, Днепр, Украина



**В.И. Ляшенко,**  
канд. техн. наук,  
vilyashenko2017@gmail.com

ГП «УкрНИПИИпром-технологии», Желтые Воды, Украина

### Введение

Глобализация мировой экономики ставит жесткие условия по сохранению энергии в системе производства и потребления, оптимизируя использование природных ресурсов планеты по принципам международной интеграции. В таких условиях прибыль государства определяется эффективностью и объемами добычи полезных ископаемых. Например, по разведанным запасам рудных месторождений Украина занимает лидирующие позиции в мире. Однако объемы добычи железных, урановых и марганцевых руд не превышают 6 % мировых. Существующий низкий уровень технологий разработки рудных месторождений значительно снижает конкурентоспособность отечественной горнодобывающей промышленности на внутренних и внешних рынках. Поэтому повышение безопасности добычи руд на основе использования геоэнергии (энергии горного давления) с учетом раскрытия сущности зонального структурирования массива вокруг выработок, описания процессов и закономерностей этого явления, обоснования принципов управления природными факторами, их эффективного использования в геознергетических технологиях представляет собой важную научную и практическую задачу [1].

### Обсуждение результатов исследований

Разработкой технологий подземной добычи полезных ископаемых в напряженных породах активно занимались ученые Украины, России, Германии, Австрии, Швейцарии, Франции, Англии, США, Канады, ЮАР и других развитых горнодобывающих стран мира. В подавляющем большинстве исследователи учитывали изменения напряженности массива по степени влияния на параметры крепей выработок и систем разработки. Прикладной фор-

Приведены основные научные и практические результаты повышения безопасности добычи руд на основе использования геоэнергии (энергия горного давления). Раскрыта актуальность применения геознергии при подземной разработке месторождений. Представлена методология исследования геознергетических процессов в недрах Земли. Предложена энергетическая теория исследования параметров зонального капсулирования массива подземных выработок.

**Ключевые слова:** горное давление, геознергия, горные выработки, синергетические методы, предохранительная капсула, геознергетические технологии.

DOI: 10.24000/0409-2961-2017-7-18-24

мат большинства научных разработок, которые основывались на принципе противодействия возрастающей энергии горного давления, предназначен только для минимизации затрат на добычу. Такой подход сделал невозможным раскрытие физической сущности феномена зональной дезинтеграции горных пород, который проявляется вокруг всех без исключения подземных выработок, что несколько приостановило развитие фундаментальных теорий о горном давлении. За несколько последних десятилетий это стало значительной преградой на пути создания новых гипотез, теорий или методов, предназначенных для описания или моделирования зонального структурирования массива вокруг горных выработок.

Глубина разработки месторождений постоянно увеличивалась и достигла отметки 1500 м, что привело к значительному ухудшению геодинамических условий добычи. Упругая потенциальная энергия Украинского кристаллического щита начала проявляться не только в виде шелушений и образования заколов, а и в виде стреляний, горных ударов и землетрясений различной амплитуды. Это привело к потере горных выработок и запасов полезных ископаемых, повреждению объектов на поверхности и в подземных выработках шахт, к травмированию и гибели людей.

На основании совместных исследований авторы усовершенствовали классификацию методов исследования напряженно-деформированного состояния горных пород путем разработки и введения синергетической группы методов, включающих энтропийные, термодинамические и энергетические подходы, что позволило исследовать процессы энергетического обмена в массиве горных пород и

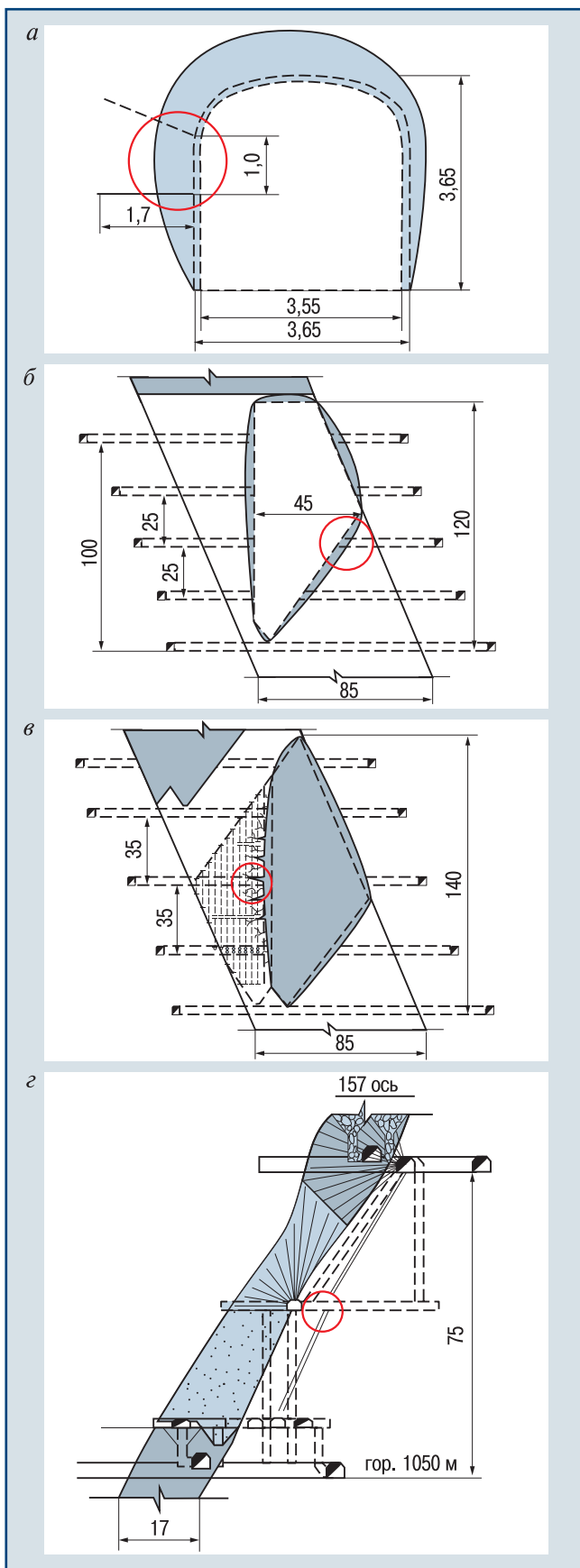
закономерные превращения одних видов энергии в другие. Существующий энтропийный метод как часть термодинамической теории дает возможность описывать термодинамическое равновесие в горных породах и обратимые деформации в ненарушенном массиве пород [2], а также процесс обмена энтропией и перераспределения энергетических потоков в массиве пород. Термодинамический метод позволяет определить форму и размеры зон разгрузки напряжений вокруг выработок, потенциальные и реальные напряжения, области разрушения массива в зонах разгрузки [3]. С помощью энергетического метода можно установить форму и размеры зон термодинамического баланса энергии, условия перехода зон в состояние дисбаланса энергии, число энергетических зон в предохранительной капсуле и второстепенные факторы напряженности массива, действующие вокруг выработок [4]. Массив горных пород, который формирует вокруг подготовительной выработки предохранительную капсулу, представляет собой эллиптический цилиндр, а для очистной камеры — эллипсоид вращения. Точность выполненных расчетов упругих деформаций горных пород (3–5 %) подтверждается сравнением данных, полученных методом разгрузки и установленных на глубинах до 1200 м в полях шахт «Октябрьская» и «Терновская» ПАО «Криворожский ЖРК». Рассчитанная и экспериментально определенная плотность пород под давлением до  $1,5 \cdot 10^3$  МПа различаются между собой в среднем на 1,32 %. Значения относительной объемной деформации пород при давлении до  $4 \cdot 10^3$  МПа сопоставлены с экспериментальными данными для условий высокого давления, и расхождение не превысило 7,9–10,6 %, а измеренная и рассчитанная скорости распространения продольных упругих волн в породном массиве, не нарушенном горными работами, различались на 6–8 % [5, 6].

В целях подтверждения и визуализации явления зонального капсулирования подземных выработок изучены параметры энергетических зон на физических моделях. Лабораторные исследования выполняли с помощью метода эквивалентных материалов, который позволил визуализировать первичные зоны, но с некоторым нарушением размеров и формы по вертикали. Эквивалентный материал подбирали путем определения предела прочности на сжатие (0,6–0,7 МПа), модуля упругости ( $0,421 \cdot 10^5$  МПа), плотности (0,16–0,2 кг/м<sup>3</sup>) и коэффициента Пуассона (0,33) по цилиндрическим образцам с помощью цифрового пресса КС-200/EUR компании Tecnotest (Италия). При использовании оптико-поляризационных материалов (эпоксидная смола) установлены вторичные зоны, но с некоторым нарушением размеров, формы и центрирования с выработками по горизонтали и вертикали. Электропроводные материалы (электропроводная бумага) позволили смоделировать первичные зоны,

но с нарушением напряжений, размеров и формы по горизонтали. Места положения отдельных зон определяли по изменению напряженности массива. Как показал анализ явления зональной дезинтеграции горных пород, водоразделом зон является значение напряженности массива, соответствующее величине  $\gamma H$ , где  $\gamma$  — плотность горных пород;  $H$  — глубина горных работ [6]. Результаты физического моделирования показали следующую достоверность относительных размеров энергетических зон, полученных с помощью эквивалентных и оптико-поляризационных материалов составили 77,5 %, оптико-поляризационных и электропроводных — 86 %, электропроводных и эквивалентных — 96 %. Разброс данных, полученных в лабораторных условиях, варьируется от 82 до 100 % при среднем значении достоверности 91 % [7].

Исследование процессов зонального капсулирования массива выполнено с помощью натуральных экспериментов, которые проводили на гор. –665, –690 и –715 м шахты «Эксплуатационная» ЧАО «Запорожский железорудный комбинат», гор. –1008 и –1050 м шахты «Терновская» ПАО «Криворожский железорудный комбинат», гор. –507 и –522 м шахты «Смолинская» ГП «ВостГОК» с использованием методов наблюдений и оценок, маркшейдерских съемок, разгрузки массива, деформации скважин и глубинных реперов. Анализ результатов показал, что глубина разрушения контуров очистных камер изменяется в основном по степенным зависимостям, а подготовительных выработок, примыкающих к камерам, — по экспоненциальным. Достоверность данных, полученных при решении уравнений для определения глубины деформации контуров выработок, колебалась от 88 до 99 % при среднем значении 95,83 %, что свидетельствует о высокой достоверности изменения граничных значений относительной глубины разрушения массива, которая составляет 81,22–86,7 %. Данные по 36 подготовительным выработкам и 25 очистным камерам, расположенным в интервале глубин 507–1008 м, позволили установить эллипсоидную форму границ деформации контуров выработок. Схемы оценки глубины разрушения массива горных пород с использованием визуальных методов приведены на рис. 1, а, методов маркшейдерских измерений — рис. 1, б, частичной разгрузки массива — рис. 1, в, деформации скважин — рис. 1, г; круги на схемах — места проведения исследований. Другие формы проявления факторов зонального капсулирования массива подземными выработками не рассматривались [8, 9].

Исследования параметров энергетических зон на лабораторных моделях из эквивалентных материалов показали возможность визуализации зональной напряженности массива, эллипсоидной формы зон и их центрирование по выработкам. Моделирование напряженности массива в энергетических зонах



▲ Рис. 1. Схемы оценки глубины разрушения массива горных пород  
 ▲ Fig. 1. Schemes of assessment of destruction depth of the rocks massif

численными методами геомеханики, основной из которых — метод конечных элементов, доказывает, что на контуре выработок радиальные напряжения приближаются к 0, а тангенциальные имеют максимальные значения, оценка которых с помощью пространственных критериев крепости не показывает зонального деформирования массива.

Для оценки уровня энергосбережения выполнен анализ соответствия широко применяемых и новых научно-производственных принципов управления энергетическим состоянием массива. Современные научные и производственные представления, на которых базируется большинство отечественных и зарубежных технологий разработки месторождений твердых полезных ископаемых, обеспечивают устойчивость горных выработок, исходя из двух основных принципов. Первый — противодействие крепи разрушению вмещающего массива за счет подбора ее вида, параметров установки и условий эксплуатации. Второй — предупреждение разрушения массива за счет уравнивания его устойчивости путем подбора размеров, формы и глубины заложения горных выработок. Усложнение горно-технических условий, связанных с увеличением глубины горных работ, до настоящего времени вызвало адекватное изменение конструкций крепей и параметров систем разработки лишь в целях минимизации затрат.

Проблема использования энергии объемного сжатия пород как основного ресурса для повышения эффективности эксплуатации горных выработок, качества их крепления и поддержания оставалась нерешенной до установления закономерностей управления энергетическим состоянием предохранительных капсул, формирующихся вокруг горных выработок, что позволило разработать ресурсосберегающие технологические решения, базирующиеся на новых принципах управления энергетическим состоянием массива при выполнении горных работ, которые реализуются благодаря содействию, устранению и перенесению разрушения массива в областях интенсивного деформирования пород.

Порядок использования принципов раскрывает эволюцию развития технологий поддержания и сохранения горных выработок. Так, одно из первых технологических решений, которое получило широкое распространение и применяется до сих пор, — противодействие разрушению массива за счет подбора видов крепей, параметров и условий их эксплуатации. При этом реализуется задача отпора развивающихся деформаций и смещений в массиве в основном при проведении подготовительных выработок. Далее замечено, что на определенном этапе активное разрушение пород затухает, и горная выработка приобретает устойчивые контуры, что стало толчком для создания нового принципа. Принцип уравнивания параметров горного давления путем подбора размеров и формы горных выработок

широко применяют при обработке очистных камер и подготовительных выработок без их крепления. Принцип содействия разрушению пород реализуется в основном при производстве буровзрывных работ. За счет обрушения областей интенсивного деформирования массива решается задача ресурсосбережения. Устранение разрушений возможно при придании обнажениям подготовительных и очистных выработок устойчивых контуров, которые соответствуют параметрам горного давления. Помимо этого, эффективное применение данного принципа возможно при заложении горных выработок в областях массива с пониженной напряженностью массива, т.е. на границе энергетических зон, в которых горное давление соответствует состоянию ненарушенного массива горных пород. Принцип перенесения используют в технологических решениях с наивысшим уровнем энергии горных пород благодаря управлению процессами разрушения, которые переносятся вглубь массива [10].

Каждый из описанных принципов управления состоянием горных пород в предохранительной капсуле выработки включает различное относительное количество энергии массива, для определения которого при креплении и поддержании выработок необходимо найти разницу между вертикальным давлением массива на крепь и величиной отпора, создаваемого крепежной системой выработки. Для этого воспользуемся экспресс-методикой, основанной на учете изменения размеров и формы энергетических зон в предохранительной капсуле выработки. Такие изменения учитывает коэффициент  $\lambda$ , который определяют отношением вертикального потенциального напряжения к горизонтальному. Коэффициент  $\lambda$  уменьшается от 1 до 0 при снижении прочности горных пород от 200 до 40 МПа и увеличении глубины разработки до 3 тыс. м по экспоненциальной зависимости, что говорит о возрастании горного давления пород на крепь выработки. Величину этого давления на 1 м<sup>2</sup> крепи со стороны кровли определяют как объем массива, заключенного в приконтурной энергетической зоне, и находят как разность между вертикальной полуосью приконтурной зоны  $a$  и половиной высоты подготовительной  $0,5h$  или половиной эквивалентного пролета обнажения камеры (очистной выработки)  $0,5l_{пр}$ , МПа,

$$P_m = \gamma(a - 0,5h), \quad (1)$$

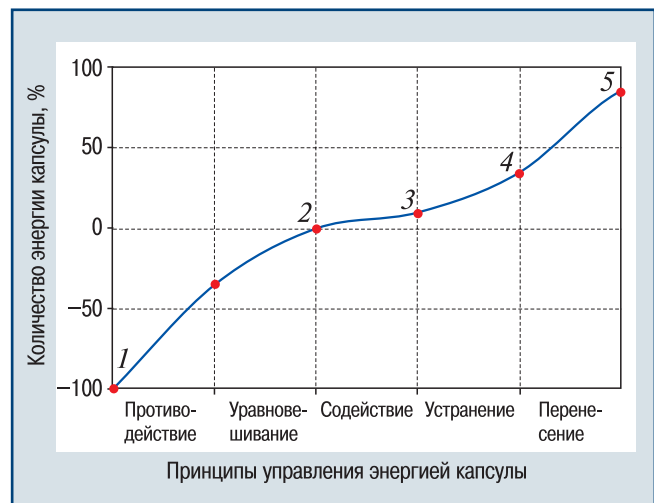
где  $P_m$  — горное давление массива пород на крепь выработки, МПа.

Граничной величиной является устойчивость контура выработки, при котором минимальное значение  $\lambda$  принимают равным 0,5, что соответствует использованию принципов уравнивания, содействия и устранения. Если значение  $\lambda$  приближается к 0,5, то давление пород на крепь существ-

венно возрастает. Это предопределяет применение крепежных и поддерживающих принципов перенесения и противодействия. Как показали расчеты, например, для подготовительной выработки, проводимой в породах прочностью 80 МПа, существует зависимость между параметрами  $\lambda$  и  $a$ , представленная ниже.

$\lambda$ .....	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,1
$a$ , м .....	0,44	0,68	1,0	1,42	2,0	16

Для очистных выработок такие параметры в среднем в 2 раза выше. Помимо этого, относительное количество используемой энергии эквивалентно давлению массива на контуре выработки. Принципы управления энергией капсулы приведены на рис. 2, здесь 1–5 — ключевые точки взаимодействия энергии предохранительной капсулы с энергией отжима крепи выработки.



▲ Рис. 2. Интерпретация принципов управления энергией предохранительной капсулы

▲ Fig. 2. Interpretation of principles of preventive capsule energy management

При эксплуатации технических средств крепления, базирующихся на традиционно применяемом принципе противодействия, не используют энергию массива, а, наоборот, для противодействия этой энергии затрачивают ее в эквивалентном или часто превышающем объеме в соответствии с запасом прочности крепи  $n$ , т.е.  $n = 1$  — противодействие 100 %,  $n = 2$  — 200 % и т.д. Принцип уравнивания, при котором применяют баланс между факторами энергии массива, с одной стороны, и размерами и формой выработок, с другой, позволяет находить между ними баланс и практически не использовать энергию для крепления и поддержания выработок (0–10 %). Принципы содействия и устранения близки по показателю используемой энергии массива (10–35 %). Разница состоит в том, что принцип содействия применяют для очистных выработок при производстве добычных работ, а принцип устранения — при сохранении устойчивости подготовительных выработок. Эффективный мето-

дологический принцип — принцип перенесения, который позволяет использовать до 86 % энергии массива в результате применения саморегулируемого анкерного крепления, которое нейтрализует конвергенцию массива за счет энергии дивергенции согласно парабло-гиперболической зависимости. Максимальный экономический эффект достигается при комбинировании нескольких принципов в одном технологическом решении: совместное использование устойчивой формы и саморегулируемого крепления в плоскости забоя и в сечении подготовительной выработки или устойчивой формы и анкерного крепления очистных камер и др.

### Экономическая эффективность внедрения

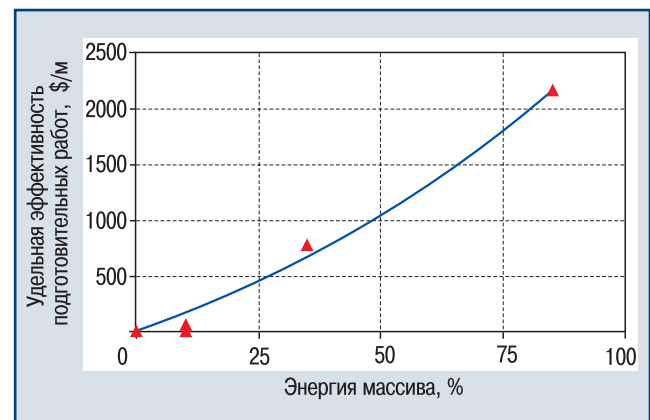
Для эффективного сравнения различных технологических решений по способам подготовки, нарезки и отработки блоков или оценки отдельных технологических процессов при использовании различных комплексов оборудования определяли себестоимость как для отдельных видов работ, так и в целом по системе разработки. Методика включала определение основных затрат, связанных с проведением подготовительно-нарезных выработок и выполнением очистных работ. Себестоимость добычи рассчитывали по добычному участку в целом и относили к 1 т добытой рудной массы. В структуру себестоимости входят следующие элементы затрат: основная и дополнительная заработная плата рабочих и инженерно-технических работников, начисления на заработную плату, стоимость материалов и энергии, амортизационные отчисления и затраты на ремонт и содержание забойного оборудования. Для определения себестоимости добычи учитывают средневзвешенные показатели: число работающих, качество используемых материалов и энергии, число механизмов и амортизационные отчисления, а также затраты на ремонт и содержание оборудования. Методика расчета включала определение удельных затрат  $Z_{у.з}$  на 1 т добытой руды, т.е. отношение конкретного вида затрат на видимое извлечение полезного ископаемого по блоку или по отдельному виду подготовительных или очистных работ (проведение выработок, подсека или отрезка запасов камеры), усл. ед.:

$$Z_{у.з} = (\Phi ЗП_{осн} + \Phi ЗП_{доп} + O_{соц} + \Phi ЗП_{итр} + C_M + C_{эл} + C_{сж.в} + A + Z_{р.о}) / A_{бал}, \quad (2)$$

где  $\Phi ЗП_{осн}$  — фонд основной заработной платы по профессиям, усл. ед.;  $\Phi ЗП_{доп}$  — дополнительная заработная плата, усл. ед.;  $O_{соц}$  — единый социальный взнос, усл. ед.;  $\Phi ЗП_{итр}$  — фонд основной заработной платы инженерно-технических работников за время ведения горных работ, усл. ед.;  $C_M$  — стоимость материалов, усл. ед.;  $C_{эл}$  — стоимость электроэнергии, усл. ед.;  $C_{сж.в}$  — стоимость сжатого воздуха, усл. ед.;  $A$  — сумма амортизационных отчислений за время работы оборудования, усл. ед.;  $Z_{р.о}$  — затраты на ремонт

и обслуживание оборудования за время производства горных работ, усл. ед.;  $A_{бал}$  — балансовые запасы эксплуатационного блока (месторождения), т.

Например, использование до 86 % относительно количества энергии, сконцентрированной в капсулах подготовительных выработок, повышает по степенной зависимости удельную экономическую эффективность проведения 1 м выработки. Так, на шахтах ПАО «Марганецкий ГОК» при проведении подготовительных выработок с устойчивой формой плоскости забоя и предохранительной анкерной крепью можно снизить затраты на 0,05 долл. США; на шахтах ПАО «Криворожский ЖРК» при проведении подготовительных выработок — на 0,05 долл. США и на 7,4 долл. США — при определении рациональных мест заложения буровых штреков. На шахтах ЧАО «Запорожский ЖРК» при подготовке и нарезке эксплуатационных блоков с применением устойчивой формы и рационального крепления выработок возможно снижение затрат на 97,29 долл. США, а на шахтах ПАО «Криворожский ЖРК» при проведении подготовительных выработок с применением комбинированного саморегулирующего крепления — на 253,62 долл. США. Зависимость удельной эффективности подготовительных работ от используемой энергии массива показана на рис. 3.



▲ Рис. 3. Зависимость удельной эффективности подготовительных работ от используемой энергии массива

▲ Fig. 3. Dependence of preparatory work specific efficiency from the used energy of the massif

В частности, использование до 10 % относительного количества энергии, сконцентрированной вокруг очистных камер, по линейной зависимости повышает удельную экономическую эффективность в долл. США на 1 т добычи. Так, на шахтах ЧАО «Запорожский ЖРК» за счет изменения направления бурения эксплуатационных скважин при ведении очистных работ можно сократить расходы на первичное и вторичное дробление руды до 0,001 долл. США; на шахтах ГП «ВостГОК» путем увеличения расстояния между эксплуатационными скважинами — снизить затраты на 0,15 долл. США на бурение, зарядание и вторичное дробление руды

ды. На шахтах ПАО «Криворожский ЖРК» при повышении устойчивости рудных и породных обнажений в очистных камерах, уменьшении потерь и разубоживании руды за счет придания устойчивой формы конструктивным элементам блоков — сократить расходы на 0,19 долл. США. На шахтах ЧАО «Запорожский ЖРК» выработкам подсечки и отрезки придают устойчивую форму, что исключает внезапное обрушение руды в очистных камерах и позволяет снизить затраты на 0,21 долл. США [11].

#### Направление дальнейших исследований

Таким образом, анализ проблемы использования энергии горного давления при разработке месторождений показал значительные резервы в экономии средств для повышения безопасности горных работ. Создание синергетических методов исследования геозон позволило обосновать параметры зонального капсулирования массивов подземных выработок. Моделирование широкого спектра условий проведения выработок позволило определить размеры и форму энергетических зон. Установлено, что за счет изменения градиентов геозон факторов нарушенный массив формирует вокруг горной выработки предохранительную капсулу. Эти процессы приводят к образованию кольцевых зон термодинамического баланса и дисбаланса энергии. На основе предложенных принципов управления энергией предохранительной капсулы (противодействие, уравнивание, содействие, устранение и переноска) сформулированы геозонные подходы к проектированию трасс подготовительных и обоснованы параметры очистных выработок в условиях капсулирования.

На этой основе планируется разработка технологических схем добычи полезных ископаемых в низкоэнергетических областях предохранительных капсул, сформированных в шахтных полях с нарушенным распределением энергии массива, новых способов преобразования выработанных пространств шахт, что позволит снижать энергонапряженность массива в местах ведения горных работ, а также классификации месторождений сопутствующих полезных ископаемых и классификации систем разработки, которые позволят выбрать энергосберегающую систему добычи.

#### Выводы

1. Установлены степенные зависимости, отображающие природный энергетический баланс возрастания энтропии в массиве пород Украинского кристаллического щита до 95 % общего энергетического баланса внешних напряжений, действующих на глубинах до 3 тыс. м.

2. Предложена экспоненциальная зависимость, описывающая изменение величины вертикального потенциального напряжения к горизонтальному, значение которой уменьшается от 1 до 0 при снижении прочности горных пород от 200 до 40 МПа,

что свидетельствует о возрастании горного давления на крепь выработок в породах Криворожского железорудного бассейна при увеличении глубины разработки.

3. Выполнена проверка результатов моделирования зонального капсулирования массива подземных выработок на лабораторных моделях, которая показала достоверность более 89 %. Анализ областей зонального деформирования массива, выявленных натурными исследованиями, показал достоверность полученных данных не менее 84 %.

4. Доказано, что доля энергии горного давления, направленная на поддержание горных выработок или обнаженных поверхностей эксплуатационных блоков, описывается параболо-гиперболической зависимостью. Это позволяет добиться экономии ресурсов до 37 % за счет использования до 86 % энергии горного давления путем снижения геодинамической активности массива благодаря применению саморегулируемого анкерного крепления, которое нейтрализует конвергенцию массива за счет энергии дивергенции.

#### Список литературы

1. Кайдо И.И. О природе явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок (гипотеза)// Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 1. — С. 16–21.
2. Лавриненко В.Ф., Лысак В.И. Метод определения начального напряженного состояния массивов скальных горных пород// Разработка рудных месторождений. — 1977. — № 24. — С. 16–20.
3. Лавриненко В.Ф., Лысак В.И. Физические процессы в массиве пород при нарушении равновесия// Известия Вузов. Горный журнал. — 1993. — № 1. — С. 1–6.
4. Khomenko O.Ye. Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks// Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. — 2012. — № 4. — С. 44–54.
5. Shashenko A., Gapieiev S., Solodyankin A. Numerical simulation of the elastic-plastic state of rock mass around horizontal workings// Archives of Mining Sciences. — 2009. — № 2 (54). — С. 341–348.
6. Determination of the displacements of rock mass nearby the dismantling chamber under effect of plow long wall/ O. Sdvyzhkova, D. Babets, K. Kravchenko, A. Smirnov// Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. — 2016. — № 2. — С. 34–42.
7. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits/ O.Ye. Khomenko, A.K. Sudakov, Z.R. Malanchuk, Ye.Z. Malanchuk// Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. — 2017. — № 2. — С. 35–43.
8. Технические решения по строительству и эксплуатации подземного рудника в условиях Анновского карьера ОАО «СевГОК»/ Б.Н. Андреев, С.В. Письменный, Н.Б. Андреев и др.// Разработка рудных месторождений. — Кривой Рог: КТУ, 2006. — Вып. 88. — С. 66–72.

9. *Ляшенко В.И.* Повышение безопасности при подземной разработке сложноструктурных месторождений// Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 9. — С. 54–59.

10. *Повышение безопасности труда при подземной добыче оптимизацией размеров целиков и пролетов выработок/ В.И. Голик, Ю.И. Разоренов, В.И. Ляшенко, Е.В. Шевченко//* Безопасность труда в промышленности. — 2016. — № 3. — С. 35–39.

11. *Ляшенко В.И., Голик В.И., Хоменко О.Е.* Повышение геодинамической безопасности подземной разработки сложноструктурных рудных месторождений// Черная металлургия. — 2017. — № 3. — С. 24–32.

**vilyashenko2017@gmail.com**

*Материал поступил в редакцию 13 апреля 2017 г.*

«Bezопасnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2017, № 7, pp.18–24.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2017-7-18-24  
Increase in Safety of Ores Extraction on the Basis of Geoenergy Use

#### Information about the Author

**O.E. Khomenko**, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.  
State Higher Educational Institution «National Mining University»,  
Dnepr, Ukraine

**V.I. Lyashenko**, Cand. Sci. (Eng.), vilyashenko2017@gmail.com  
GP «UkrNIPIPromtekhologii», Zhovti Vody, Ukraine

#### Abstract

Classification of research methods of the stressed-deformed state of rocks by the development and introduction of synergy group of methods including entropy, thermodynamic and energy approaches is improved. Processes of energy exchange in the rock massif and regular transformations of one types of energy to other are studied. Mine and laboratory pilot studies, mathematical and physical modeling, and also theoretical analysis and generalization of the obtained results using standard methods are performed.

On 36 development workings and 25 shrink stoping located in the interval of depths from –507 to –1008 m the ellipsoidal form of areas of deformation of the massif, and also the power dependences of increase of the part of influence of the entropy to 95 % of the total energy balance of external stresses on the example of rocks of Krivoy Rog iron ore basin are established. Check of the simulation results of zonal capsulation of the underground workings massif on the laboratory models, which showed reliability of more than 89 %, is performed. Analysis of the areas of massif zonal deformation revealed by the field studies showed reliability of the obtained data of not less than 84 %.

Power dependences of change of the sizes of the adjacent energy zones, which ratio is the constant from the overall dimensions, depth of laying and physical properties of the massif containing the working are established.

It is proved that the share of energy of the rock pressure directed to maintenance of mine workings or exposed surfaces of the operational units is described by parabolohyperbolic law. It allows to achieve saving of resources to 37 % due to use to 86 % of energy rock pressure by decrease of geodynamic activity of the massif using rock anchor, which neutralizes convergence of massif due to energy divergence.

**Key words:** rock pressure, geoenergy, mine workings, synergy methods, safety capsule, geoennergetic technologies.

#### References

1. Kajdo I.I. About the Character of Phenomenon of Rocks Zonal Disintegration around the Underground Workings (Hypothesis). *Gornyy informacno-analiticheskiy bjulleten = Mining Information and Analytical Bulletin*. 2009. № 1. pp. 16–21.
2. Lavrinenko V.F., Lysak V.I. Method of Defining Initial Stress Condition of the Massifs of Rocky Mine Rocks. *Razrabotka rudnyh mestorozhdenij = Development of Ore Fields*. 1977. № 24. pp. 16–20.
3. Lavrinenko V.F., Lysak V.I. Physical Processes in the Massif of Rocks at Disturbance of Equilibrium. *Izvestija Vuzov. Gornyy zhurnal = News of Higher Educational Institutions. Mining Journal*. 1993. № 1. pp. 1–6.
4. Khomenko O.Ye. Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2012. № 4. pp. 44–54.
5. Shashenko A., Gapiciev S., Solodyankin A. Numerical simulation of the elastic-plastic state of rock mass around horizontal workings. *Archives of Mining Sciences*. 2009. № 2 (54). pp. 341–348.
6. Sdvyzhkova O., Babets D., Kravchenko K., Smirnov A. Determination of the displacements of rock mass nearby the dismantling chamber under effect of plow long wall. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016. № 2. pp. 34–42.
7. Khomenko O.Ye., Sudakov A.K., Malanchuk Z.R., Malanchuk Ye.Z. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. № 2. pp. 35–43.
8. Andreev B.N., Pismennyi S.V., Andreev N.B., Pismennyi I.A., Sergienko S.E., Kalapuc I.G., Vahovskij A.I. Technical Solutions on Construction and Operation of the Underground Mine in the Conditions of Annovskiy Pit of OAO SevGOK. *Razrabotka rudnyh mestorozhdenij = Development of Ore Fields*. Krivoy Rog: KTU, 2006. Iss. 88. pp. 66–72.
9. Lyashenko V.I. Safety Increase at the Underground Mining of Deposits with Complicated Structures. *Bezопасnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2014. № 9. pp. 54–59.
10. Golik V.I., Razorenov Ju.I., Lyashenko V.I., Shevchenko E.V. Labour Safety Increase at the Underground Mining by Optimization of Sizes of the Rock Pillars and Workings Spans. *Bezопасnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2016. № 3. pp. 35–39.
11. Lyashenko V.I., Golik V.I., Khomenko O.Ye. Increase of Geodynamic Safety of the Underground Mining of the Ore Deposits with Complicated Structures. *Chernaja metallurgija = Ferrous Metallurgy*. 2017. № 3. pp. 24–32.

### Научный журнал Российского газового общества

**Гарагаш И.А.** Анализ и моделирование геомеханических процессов при сооружении и эксплуатации подземных хранилищ газа в массиве каменной соли. — 2017. — № 2. — С. 11–16.

Рассмотрены особенности геомеханического моделирования при сооружении и эксплуатации подземных хранилищ газа в массиве каменной соли. Показано, что анализ должен начинаться с создания трехмерной геомеханической модели объема толщи, в котором предполагается создание каверны. Установлено, что ползучесть соли и рельеф поверхности предопределяют начальное распределение напряжений в массиве. На примере двух расположенных рядом искусственных каверн выполнен

анализ их взаимодействия течением времени. Рассчитано оседание земной поверхности и формирование мульды оседания. Выполнен анализ прочности стенок резервуаров.

**Романов В.В., Шубина Д.Д.** Методы геофизики при исследовании линейных сооружений в криолитозоне. — 2017. — № 2. — С. 17–20.

Статья посвящена актуальной теме безаварийной эксплуатации линейных сооружений — газопроводов и линий электропередачи в условиях приповерхностного залегания многолетнемерзлых пород и иных грунтов. Большое количество неблагоприятных, геологических явлений, характерных для криолитозоны, делает обслуживание линейных сооружений Севера России весьма проблематичным. В качестве решения предлагается использовать геофизические методы: инженерную сейсмо-разведку и георадиолокацию.