

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОЭНЕРГИИ¹

Изложены основные научные и практические результаты разработки и внедрения новых технологий и технических средств для крепления горных выработок с использованием геоэнергии, позволяющие использовать максимальное количество энергии, генерируемой в предохранительной капсуле с экономией ресурсов. Показано, что энергия предохранительной капсулы, сформированной вокруг горной выработки, используется согласно параболо-гиперболической зависимости, значения которой соответствуют принципам противодействия и перенесения сконцентрированной энергии массива. Обоснована эффективность внедрения разработанных технологий крепления выработок для рудных шахт Украины.

Ключевые слова: горные выработки; крепление; горный массив; геоэнергия; большие глубины.

O. E. Khomenko, V. I. Lyashenko

NEW TECHNOLOGIES AND TECHNICAL MEANS OF FIXING MINE WORKINGS USING GEO-ENERGY

The main scientific and practical results of the development and implementation of new technologies and equipment for mining using geo-energy, allowing the use of the maximum amount of energy generated in the safety capsule with saving resources. It is shown that the energy of the safety capsule formed around the mining is used according to the parabolo-hyperbolic dependence, the values of which correspond to the principles of counteracting and transferring the concentrated energy of the array. The efficiency of implementation of the developed technologies for fixing workings for ore mines in Ukraine is proved.

Keywords: mine workings; fastening; rock massif; geo-energy; great depths.

Введение

Проблема раскрытия физической сущности явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок, которое впервые было выявлено в 1972 году на шахте ЮАР и далее – в СССР, России, Украине, Казахстане, США, Японии и других развитых горнодобывающих странах мира, долгое время не находила решения и применения [1, 2]. Открытие самого явления дало лишь понимание о формировании вокруг подземных выработок самоорганизующихся кольцевых структур. Это инициировало появление гипотез, отвергающих физическую реальность

данного явления на протяжении 20 лет с момента открытия. Вместе с тем с 1990-х годов прошлого столетия активно использовались новые методы в горной науке, которые также не описывали механизмы формирования энергетических зон. Зональная дезинтеграция горных пород вокруг подземных выработок заключается в том, что она противоречит представлениям классической механики горных пород о состоянии массивов, согласно которым невозможно движение фронта запредельного деформирования от контура выработки в глубь массива с образованием зон упругого, упругопластического и пласти-

¹ Авторы выражают благодарность В. Ю. Усатому (ЧАО «Запорожский ЖРК»), В. С. Ричко (ПАО «Криворожский ЖРК»), В. Н. Пухальскому (ГП «Восточный ГОК») и другим специалистам этих предприятий за содействие во внедрении полученных научных и практических результатов исследований.

ческого состояний. В результате это феноменальное явление было признано одной из сложнейших проблем горной науки, не поддающейся описанию на базе классических законов физики и современных представлений геомеханики [3]. Поэтому разработка и внедрение новых технологий и технических средств крепления горных выработок с использованием геозергии – вот те важные, имеющие научное и практическое значение задачи, требующие безотлагательного решения [4].

Цель исследования – разработка и внедрение новых технологий и технических средств крепления горных выработок с использованием геозергии, позволяющих использовать максимальное количество энергии, генерируемой в предохранительной капсуле выработки с экономией ресурсов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1) *установить* зависимость энергии предохранительной капсулы, сформированной вокруг горной выработки, значения которой соответствуют принципам противодействия, уравновешивания, содействия, устранения и перенесения сконцентрированной энергии массива;

2) *рекомендовать* усовершенствованные технологии подготовительных работ с учетом придания эллипсоидных контуров плоскости забоя и сечению подготовительных выработок на шахтах ПАО «Криворожский ЖРК»;

3) *определить* эффективность внедрения разработанных ресурсосберегающих технологий крепления выработок для рудных шахт Украины на основе методики определения участковой и общей себестоимости при добыче полезных ископаемых.

Теория и методы исследования

Авторами выполнены исследования в области повышения безопасности подземной разработки сложноструктурных месторождений на основе данных оперативного контроля и прогноза напряженного состояния горного массива с различными формами динамического проявления горного давления. Проанализированы физические свойства горных пород и новые гипотезы о горном давлении с учетом оценки степени устойчивости

обнажений, выявления закономерностей их деформирования и разрушения, увязки выемки руды и пород во времени и пространстве, определения параметров конструктивных элементов систем разработки, способов крепления и соответствующих типов крепи, шахтные, лабораторные и экспериментальные исследования, математическое и физическое моделирование, а также теоретический анализ и обобщение результатов исследований по стандартным и новым, разработанным авторами методикам [5].

Обсуждение и оценка полученных результатов

На стадии анализа научной проблемы с использованием синергетического методологического поиска авторам удалось раскрыть физическую сущность исследуемого феномена и назвать его зональным капсулированием выработки системой кольцевых энергетических зон. С помощью усовершенствованного авторами энтропийного метода смоделировано состояние нетронутого массива. Установлено, что процессы энергообмена в горных породах протекают во взаимно перпендикулярных направлениях, соответствующих вертикальным и горизонтальным энергетическим потокам. Это позволило описать процессы, определить параметры и выявить закономерности перераспределения потенциальной энергии в горных породах Украинского кристаллического щита. Затем с помощью разработанного энергетического метода были исследованы параметры капсулирования горных выработок при помощи категорий «конвергенция» и «дивергенция», которые являются фазами центростремительной самоорганизации открытых систем. В результате конвергенции вмещающий выработку массив пород делится на подзоны интеграции, а при дивергенции – подзоны дезинтеграции. За счет конвергенции и дивергенции массив противодействует проведению в нем горной выработки и восстанавливает свою целостность, формируя защитную капсулу, которая состоит из системы энергетических зон.

Выполненные исследования феномена зонального капсулирования горных выработок с помощью новых методов позволили установить точное количество, размеры и форму

энергетических зон, а главное, выявить синусоидальные напряжения и кольцевые области деформации. Установлено, что энергия предохранительной капсулы, сформированной вокруг горной выработки, может использоваться согласно парабло-гиперболической зависимости, значения на которой соответствуют обоснованным принципам: противодействия, уравнивания, содействия, устранения и перенесения сконцентрированной энергии массива, на которых базируются предложенные технологические решения.

Перспектива развития Криворожского железорудного бассейна по разработке мощных крутопадающих залежей в интервале глубин 1500–3000 м связана с применением высокопроизводительного самоходного и, соответственно, крупногабаритного бурового и погрузочно-транспортного оборудования. Обеспечение устойчивости подготовительных выработок площадью поперечного сечения до 20 м² и выше рационально с применением устойчивой формы, а при увеличении глубины уже более 1000 м и с установкой саморегулируемого анкерного крепления, использующего энергию H горного давления.

Расчетные значения коэффициента формы энергетических зон λ , входящих в предохранительную капсулу выработки, определяются как отношение вертикального потенциального напряжения к горизонтальному ($\lambda = \Delta\sigma_{z(y)} / \Delta\sigma_{x(y)}$) и представлены в виде множественных степенных зависимостей на рис. 1. С использованием коэффициента λ размеры (м) вертикальной a и горизонтальной b полуосей приконтурной к выработке энергетической зоны определяются как

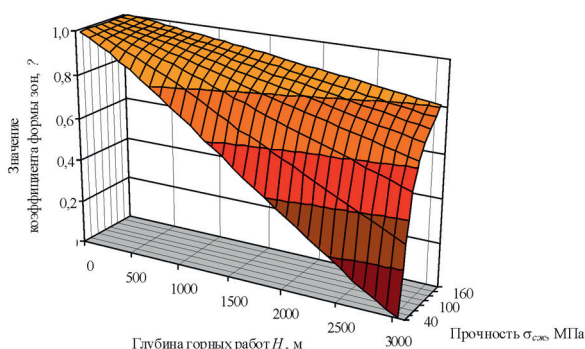


Рис. 1. Значения λ для различной глубины горных работ и прочности пород рудных месторождений Кривбасса

$$a = 0,5(d\lambda^{-1} + h); \quad b = a\lambda, \quad (1)$$

где d – ширина и h – высота подготовительной выработки, м.

При расчете устойчивого контура выработки минимальное значение λ принимают равным 0,5. Если $\lambda < 0,5$, то давление пород на крепь существенно возрастает. В этом случае возможно пучение пород в почве выработки, что вынуждает придавать обнажению массива форму полного эллипсоида и крепить податливыми металлическими окладами, установленными через 0,2–0,5 м, или монолитным бетоном (табл. 1).

Благодаря системному исследованию феномена зонального капсулирования горных выработок, аналитическому описанию картины самоорганизации нарушенного выработкой массива открывается возможность использования нового принципа – уравнивания в технологиях крепления и поддержания подземных выработок. Инновационный принцип практически исключает влияние глубины проведения выработок на себестоимость их крепления (рис. 2).

Уравнивается энергия массива нагрузкой от развития процессов дивергенции, за счет использования саморегулируемых анкерных болтов в составе комбинированных крепей. Возможные глубины использования предлагаемого технологического решения тесно связаны с процессом зонального капсулирования, т. е. образованием второй и последующих энергетических зон вокруг выработок. Опираясь на полученные результаты исследований, авторами разработана методика расчета паспорта крепления подготовительных выработок, который использует энергию горного давления [6].

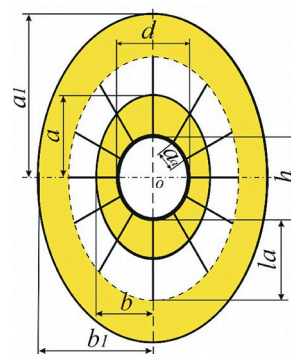


Рис. 2. Параметрическая схема к составлению паспорта крепления выработки (зоны и подзоны конвергенции выделены желтым фоном, другие обозначения приведены в тексте)

Таблица 1

Устойчивая форма поперечного сечения

Глубина заложения выработки, м	350	700	1000	1600	3000
Значение λ	1,0–0,9	0,9–0,8	0,8–0,7	0,7–0,5	0,5–0,1
<i>Традиционная форма и крепление</i>					
Форма	трапецевидная		арочная		
Крепление	деревянное	облегченное арочное	усиленное арочное	монолитное бетонное	
<i>Ресурсосберегающая форма и крепление</i>					
Форма	круглая	арочная	подковообразная	полуэллиптическая	эллиптическая
Крепление	без крепи	набрызг-бетонное	анкерное	облегченное комбинированное	

1. Длина анкеров:

– для кровли и почвы выработки при малом радиусе закругления контуров, м,

$$l_a = 2a - r + l_n; \tag{2}$$

– для боков выработки при большом радиусе закругления контуров, м,

$$l_a = 2b - R + l_n, \tag{3}$$

где l_n – длина выступающей из шпура части анкера, зависящая от его конструкции и толщины опорно-поддерживающих элементов, равная 0,05–0,2 м; радиус закругления сводчатых частей забоя, т. е. малый радиус, м,

$$r = \frac{(a^2 + c^2)^{0,5} - a + c}{2 \cos \psi}; \tag{4}$$

радиус закругления центральной части забоя т. е. большой радиус, м,

$$R = c + (a - r) \operatorname{tg} \theta, \tag{5}$$

где θ – угол действия нормального напряжения

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \psi, \tag{6}$$

где ψ – угол между главным нормальным напряжением и вертикальной плоскостью, град,

$$\operatorname{tg} \psi = \lambda. \tag{7}$$

2. Плотность расстановки анкеров n_a , шт., определяется по формуле

$$n_a = \frac{P_6 U \gamma k_n}{P_a},$$

где P_6 – периметр выработки эллипсоидной формы, м,

$$P_6 = 4 \frac{\pi ab + (a - b)^2}{a + b}, \tag{8}$$

U – величина возможного разрушения массива в плоскости забоя, м; γ – объемный вес руды или горных пород в пределах области возможного разрушения, кН/м³; k_n – коэффициент перегрузки анкера; P_a – несущая способность анкера (табл. 2).

Объем массива V , заключенного в приконтурной энергетической зоне, находится как среднее значение сумм разностей между вертикальной полуосью зоны a и половиной высоты выработки $0,5h$, и между горизонтальной полуосью зоны b и половиной ширины выработки $0,5d$, м,

$$V = \frac{(a - 0,5h) + (b - 0,5d)}{2}. \tag{9}$$

3. Расстояние между анкерами, м

$$a = \sqrt{\frac{P_a}{U \gamma k_n}}. \tag{10}$$

Так как действия радиальных напряжений направлены в геометрический центр выработки, бурение шпуров и, соответственно, установка анкеров производятся от центра выработки под соответствующими углами к контуру обнажения массива [7].

Таблица 2

Взаимосвязь предела прочности пород на сжатие, типа анкера и несущей его способности

Тип анкера	Предел прочности пород на сжатие, МПа	Несущая способность анкера, P_a , кН
Железобетонный	> 20	100
Клинощелевой (замковый)	60–100	40–80
Трубчатый (с распорным замком)	> 40	60–120
Сталеполимерный	Любой	140–234
Канатный (ампульный)		

Почва выработки формируется за счет балласта или бетонирования нижней части с укладкой по центру систем водоотливных конструкций (лотки с крышками, перфорированные трубы, опалубка). Во избежание отслоения мелких кусков руды и породы при проведении выработок в трещиноватых горных породах и рудах применяют комбинированное крепление – анкера с сеткой «Рабица», просечными листами, армированными картами и т. д. Сетку или другие поддерживающие конструкции необходимо располагать по контуру выработки, в кровле и боках на длину до 80 % закрепляемого участка, и закреплять анкерами. В случае пересечения выработкой напластования руды и пород анкера необходимо располагать под углом перпендикулярно напластованию, что приведет к увеличению их длины на 20–30 % [8]. Необходимая длина анкера, который устанавливается под углом, перпендикулярном к напластованию, следующая, м:

$$l_y = l_a \sin \alpha, \quad (11)$$

где α – угол напластования пород или падения залежи, град.

При этом основным элементом такой крепи является конструкция самого анкера и замков, которые закладываются в зоне активного сжатия и за пределами области деформирования пород [9].

При этом уравнивается энергия растяжения пород на обнажении очистной или подготовительной выработки с энергией сжатия в глубине массива [10]. Это позволяет увеличить рациональные глубины применения анкерного и комбинированного крепления для горно-капитальных и подготовительных выработок, а также исключить применение дорогостоящих рамных или бетонных крепей [11].

Длина обсадочной трубы определяется для вертикальных и горизонтальных обнажений массива пород и закладки:

– вертикально устанавливаемых анкеров, м,

$$l_{os} = a - 0,5h + \frac{0,5a_n}{3}; \quad (12)$$

– горизонтально устанавливаемых анкеров, м,

$$l_{os} = b - 0,5d + \frac{0,5b_n}{3}, \quad (13)$$

где a_n – номер зоны дисбаланса энергии, имеющей наивысшую жесткость упругой энергии. Как правило, это вторая от выработки зона в предохранительной капсуле, размер которой равен $2a$.

Длина части шпура, свободной от обсадки, замка анкера и свободной забойной части определяются по идентичной формуле:

– вертикально устанавливаемых анкеров, м,

$$l_{ca} = \frac{0,5a_n}{3}; \quad (14)$$

– горизонтально устанавливаемых анкеров, м,

$$l_{ca} = \frac{0,5b_n}{3}. \quad (15)$$

Конструкция анкера позволяет двигаться болту внутри обсадной трубы за счет установки замка в зоне максимальных сжимающих напряжений, направленных в обратную сторону от выработки. Данная конструкция позволяет уравновесить максимальный объем энергии, расходуемой массивом на разрушение контура выработки за счет противодействия упругой энергией дивергенции массива [12].

Экономическая эффективность

В соответствии с обоснованной взаимосвязью формы поперечного сечения подготовительных выработок с типом их крепи определена себестоимость проведения 1 п. м выработки (табл. 3).

Себестоимость определялась по основным видам затрат для горно-геологических условий проведения подготовительной выработки: площадь поперечного сечения подготовительной выработки $S_{np} = 10,5 \text{ м}^2$ ($h = 3 \text{ м}$, $d = 3,5 \text{ м}$); глубина заложения $H = 1200 \text{ м}$; прочность мармитовых руд 80 МПа; размеры полусей приконтурной и последующих энергетических зон $a = 3,98 \text{ м}$, $a_1 = 7,96 \text{ м}$, $a_2 = 11,93 \text{ м}$, $a_3 = 15,92 \text{ м}$ и $b = 2,81 \text{ м}$, $b_1 = 5,62 \text{ м}$, $b_2 = 8,43 \text{ м}$, $b_3 = 11,2 \text{ м}$. В качестве базовых форм поперечного сечения подготовительных выработок и их крепления принимались данные, получившие наибольшее распространение на рудных шахтах Украины [13].

Из табл. 3 видно, что заложение подготовительной выработки с устойчивой формой

Себестоимость проведения 1 п. м подготовительной выработки

Глубина заложения выработки, м	Базовый параметр			Предлагаемый параметр		
	форма сечения	применяемая крепь	себестоимость, грн/м	форма сечения	предлагаемое крепление	себестоимость, грн/м
350	трапециевидная	деревянная	4044,0	круглая	без крепи	2643,0
700				арочная	набрызг-бетонное	3164,0
1000	арочная	облегченная арочная	3882,0	подковообразная	анкерное	3241,0
1600		усиленная арочная	4624,0	полуэллиптическая	облегченное комбинированное	3464,0
3000		монолитная бетонная	5493,0	эллиптическая		

позволяет сэкономить на 1 п. м: на глубине до 350 м – 1401 грн, до 700 м – 880 грн, до 1000 м – 641 грн, до 1600 м – 1160 грн и до 3000 м – 2029 грн. Прослеживается устойчивая экспоненциальная зависимость с точкой экстремума на глубине в 1000 м, на которой начинается резкое возрастание сэкономленных средств на креплении подготовительных выработок [14].

Авторами установлена удельная эффективность подготовительных работ, которая зависит от используемой энергии массива предохранительной капсулы, сформированной вокруг горной выработки согласно парабола-гиперболической зависимости, значения которой соответствуют принципам противодействия, уравнивания, содействия, устранения и перенесения сконцентрированной энергии массива (рис. 3).

Таким образом, для крепления напряженных пород целесообразно применение анкеров нового поколения, т. е. удлиненных анкерных болтов с расположением замка в центре зоны дисбаланса энергии. Это позволяет выполнять условие активного противодействия разрушению массива за счет использования упругой энергии массива [15, 16].

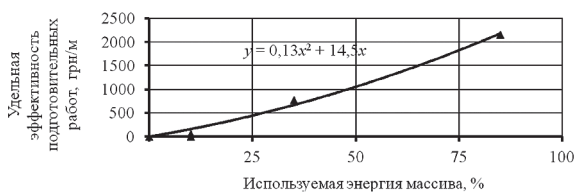


Рис. 3. Закономерность удельной себестоимости подготовительных работ от используемой энергии массива

Направление дальнейших исследований

В результате анализа методик, технологий и технических средств определения прочности горных пород авторами расширена классификация методов исследования за счет введения синергетической группы. Это позволило существенно исследовать явление зонального структурирования массива вокруг горных выработок. Авторы отмечают, что весьма важным является также изучение зависимостей количества, размеров и форм энергетических зон и на этой основе более точное выявление затухающих напряжений и кольцевых областей деформации, выбор эффективного крепления горно-подготовительных и капитальных выработок [17, 18].

Выводы

1. Установлено, что энергия предохранительной капсулы, сформированной вокруг горной выработки, используется согласно парабола-гиперболической зависимости вида $y = 0,13x^2 + 14,5x$, значения которой соответствуют принципам противодействия и перенесения сконцентрированной энергии массива. Крепление горных выработок с закладываемым в конструкцию крепи принципом противодействия реализуется с затратами энергии, эквивалентными энергии массива (100 %), а при использовании принципа перенесения возможно использовать до 86 % энергии массива.

2. Рекомендованное усовершенствование технологии подготовительных работ, включающее придание эллипсоидных контуров плоскости забоя и сечению подготовительных выработок на шахтах ПАО «Кри-

ворожский ЖРК», позволяет уравновесить устойчивость обнажений с энергетическим состоянием предохранительной капсулы без затрат энергии на поддержание, а дополнительное использование саморегулируемого анкерного крепления, которое работает по принципу перенесения энергии конвергенции, разрушающей контур обнажения, в зону с активной дивергенцией, позволяет использовать максимальное количество энергии, генерируемой в предохранительной капсуле выработки с экономией ресурсов до 37 %.

3. *Определена* эффективность внедрения разработанных ресурсосберегающих техно-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Oparin V. N.* Interaction of geomechanical and physicochemical processes in Kuzbass coal / V. N. Oparin, T. A. Kiryaeva, V. Yu. Gavrilov et al. // J. Mining Sci. 2014. Vol. 50, Issue 2. P. 191–214.
2. *Oparin V. N.* Nonlinear deformation-wave processes in various rank coal specimens loaded to failure under varied temperature / V. N. Oparin, T. A. Kiryaeva, O. M. Usol'tseva // J. Mining Sci. 2015. Vol. 51, No 4. P. 641–658.
3. *Наговицин Ю. Н., Кисель А. А., Топчиев А. П., Усков В. А.* Критерии выбора типа и расчета параметров крепи горизонтальных выработок на рудниках Норильского промышленного района // Горный журнал. 2015. № 6. С. 74–80.
4. *Топчиев А. П., Усков В. А.* Об особенностях выбора типа крепи нарезных выработок в зоне влияния очистных работ рудников Талнаха // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 6. С. 151–155.
5. *Еременко В. А., Есина Е. Н., Семенякин Е. Н.* Технология оперативного мониторинга напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива горных пород // Горный журнал. 2015. № 8. С. 42–47.
6. *Oparin V. N.* Initiation of underground fire sources / V. N. Oparin, T. A. Kiryaeva, V. Yu. Gavrilov et al. // J. Mining Sci. 2016. Vol. 52, No 3. P. 576–592.
7. *Фрейдун А. М., Неверов С. А., Неверов А. А., Конурилин А. И.* Геомеханическая оценка геотехнологий подземной добычи руд на стадии проектных решений // Горный журнал. 2016. № 2. С. 39–45.
8. *Eremenko V.A., Neguritsa D.L.* Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses // Eurasian Mining. 2016. № 1(25). P. 21–24.
9. *Трушко О. В.* Виды и конструкции сейсмостойких крепей, применяемых при разработке рудных месторождений // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2016. Вып. 1. С. 120–130.
10. *Шапошник Ю. Н., Неверов А. А., Неверов С. А., Никольский А. М.* Оценка влияния накопившихся пустот на безопасность доработки Артемьевского место-

логий крепления выработок для рудных шахт Украины, основанных на методике определения участковой и общей себестоимости при добыче полезных ископаемых. Использование до 86 % относительного количества энергии, сконцентрированной в массиве вокруг подготовительных выработок, повышает по степенной зависимости удельную экономическую эффективность выполнения подготовительных работ и позволяет снизить затраты до 2029 грн. на 1 п. м при проведении выработок с применением саморегулирующегося анкерного крепления на шахтах ПАО «Криворожский ЖРК».

- рождения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 3. С. 108–118.
11. *Коврижных А. М., Усольцева О. М., Коврижных С. А., Цой П. А., Семенов В. Н.* Исследование прочности анизотропных горных пород в условиях осевого сжатия с боковым давлением // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 5. С. 37–43.
12. *Жирнов А. А., Шапошник Ю. Н., Никольский А. М., Неверов С. А.* Геомеханическая оценка горнотехнической ситуации на Иртышском месторождении и обоснование параметров систем разработки // Горный журнал. 2018. № 1. С. 48–53.
13. *Башков В. И., Христолюбов Е. А., Еременко А. А., Филиппов В. Н., Конурилин А. И.* Обоснование параметров систем разработки слепых рудных тел в удароопасных условиях на железорудных месторождениях Горной Шории // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 3. С. 18–31.
14. *Жирнов А. А., Абдрахманов С. У., Шапошник Ю. Н., Конурилин А. И.* Оценка устойчивости массива горных пород и выбор типа и параметров крепления выработок на Орловском полиметаллическом месторождении // Горный журнал. 2018. № 3. С. 39–45.
15. *Хоменко О.Е., Кононенко М.Н., Ляшенко В.И.* Повышение безопасности горно-подготовительных работ на рудных шахтах // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 5. С. 53–59.
16. *Хоменко О.Е., Кононенко М.Н., Ляшенко В.И.* Безопасная добыча гранитов на марганцеворудных месторождениях Украины // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 1. С. 53–61.
17. *Хоменко О.Е., Ляшенко В.И.* Повышение горнотехнической безопасности проведения подземных выработок // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 4. С. 43–51.
18. *Вохмин С. А., Курчин Г. С., Майоров Е. С., Кирсанов А. К., Костылев С. С.* Технологии крепления горных выработок глубоких горизонтов Октябрьского месторождения // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 7. С. 45–52. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-45-52

REFERENCES

1. Oparin V. N., Kiryaeva T. A., Gavrilov V. Yu. et al. Interaction of geomechanical and physicochemical processes in Kuzbass coal. *J. Mining Sci.* 2014. 50 (2). pp. 191–214.
2. Oparin V. N., Kiryaeva T. A., Usol'tseva O. M. Nonlinear deformation-wave processes in various rank coal specimens loaded to failure under varied temperature. *J. Mining Sci.* 2015. 51(4). pp. 641–658.
3. Nagovitsyn Yu. N., Kisel A. A., Tapsiev A. P., Uskov V. A. Criteria for selecting the type and calculating the parameters of horizontal workings on the mines of the Norilsk industrial district. *Mining Journal.* 2015. № 6. pp. 74–80.
4. Tapsiev A. P., Uskov V. A. On peculiarities of the selection of the type of supports threaded excavations in the zone of influence of the sewage treatment works of the Talnakh mine. *Physicotechnical problems of mining.* 2015. No. 6. pp. 151–155.
5. Eremenko V. A., Esina E. N., Semenyakin E. N. *Gornyy zhurnal.* 2015. No. 8. pp. 42–47.
6. Oparin V. N. Initiation of underground fire sources. *J. Mining Sci.* 2016. 52 (3). pp. 576–592.
7. Freydin A. M., Neverov S. A., Neverov A. A., Konurin A. I. Geomechanical estimation of geotechnologies of underground ore mining at the design decisions stage. *Mining Journal.* 2016. No. 2. pp. 39–45.
8. Eremenko V. A., Neguritsa D. L. Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses. *Eurasian Mining.* 2016. No. 1(25). pp. 21–24.
9. Trushko O. V. Types and designs of antiseismic lining a used in the development of ore deposits. Proceedings of the Tula State University. *Earth Sciences.* 2016; 1. pp. 120–130.
10. Shaposhnik Yu. N., Neverov A. A., Neverov S. A., Nikolsky A. M. Evaluation of the influence of accumulated voids on the safety of completion of the Artemyevsky deposit. *Physicotechnical problems of mining.* 2017. No. 3. pp. 108–118.
11. Kovrizhnykh A. M., Usol'tseva O. M., Kovrizhnykh S. A., Tsoi P. A., Semenov V. N. Study of the strength of anisotropic rocks under conditions of axial compression with lateral pressure. *Journal of Mining Science.* 2017. 5. pp. 37–43. Doi: 10.15372/FTPR-PI20170505.
12. Zhirnov A. A., Shaposhnik Yu. N., Nikolsky A. M., Neverov S. A. Geomechanical assessment of the mining situation in the Irtysh deposit, justification of the parameters of development systems. *Mining Journal.* 2018. No. 1. pp. 48–53.
13. Bashkov V. I., Khristolyubov E. A., Eremenko A. A., Filippov V. N., Konurin A. I. Substantiation of the parameters of systems for the development of blind ore bodies in shock-hazard conditions at the iron ore deposits of Gornaya Shoria. *Mining information-analytical bulletin (scientific and technical journal).* 2018. No. 3. P. 18–31.
14. Zhirnov A. A., Abdrakhmanov S. U., Shaposhnik Yu. N., Konurin A. I. Evaluation of the stability of the rock massif and the choice of the type and parameters of fixing the excavations at the Orel polymetallic deposit. *Mining Journal.* 2018. No. 3. pp. 39–45.
15. Khomenko O., Kononenko M., Lyashenko V. Safety Improving of Mine Preparation Works at the Ore Mines. *Occupational Safety in Industry.* 2018. (5). pp. 53–59. URL: <https://doi:10.24000/0409-2961-2018-5-53-59>.
16. Khomenko O., Kononenko M., Lyashenko V. Safe Mining of Granites at the Manganese Ore Deposits of Ukraine. *Occupational Safety in Industry.* 2019 (1). pp. 53–61. URL: <https://doi:10.24000/0409-2961-2019-1-53-61>.
17. Khomenko O., Lyashenko V. Improvement of the Mine Technical Safety for the Underground Workings. *Occupational Safety in Industry.* 2019 (4). pp. 43–51. URL: <https://doi:10.24000/0409-2961-2019-4-43-51>.
18. Vokhmin S. A., Kurchin G. S., Maiorov E. S., Kirsanov A. K., Kostylev S. S. An overview of deep horizons excavation lining technologies at Oktyabrsky deposit. *News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2019; 7. pp. 45–52. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-45-52.

Хоменко Олег Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор кафедры горной инженерии и образования Национального технического университета «Днепропетровская политехника» Министерства образования и науки Украины, тел. +38 (067) 950-66-35; e-mail: rudana.in.ua@gmail.com

Ляшенко Василий Иванович, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, начальник научно-исследовательского отдела Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии», тел. +38 (095) 422-70-72; e-mail: vilyashenko2017@gmail.com.

Khomenko Oleg Evgenievich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Mining Engineering and Education, National Technical University «Dnipro Polytechnic», Ministry of Education and Science of Ukraine, tel. +38 (067) 950-66-35; e-mail: rudana.in.ua@gmail.com;

Lyashenko Vasily Ivanovich, Cand. Techn. Sciences, Art. Scientific Employee, Head of the Research Department of the State Enterprise «Ukrainian Research and Design Institute of Industrial Technology», tel. +38 (095) 422-70-72; e-mail: vilyashenko2017@gmail.com.