

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОНАЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ВОКРУГ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

О. Хоменко^{1*}, М. Кононенко¹, М. Нетеча²

¹Кафедра подземной разработки месторождений, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

²Научно-исследовательская часть, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

*Ответственный автор: e-mail koordin@rudana.in.ua, тел. +380679506635

INDUSTRIAL RESEARCH INTO MASSIF ZONAL FRAGMENTATION AROUND MINE WORKINGS

O. Khomenko^{1*}, M. Kononenko¹, M. Netecha²

¹Underground Mining Department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

²Research department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

*Corresponding author: e-mail koordin@rudana.in.ua, tel. +380679506635

ABSTRACT

Purpose. The main purpose of the work is identification of massif zonal fragmentation around mine workings by means of industrial methods of research.

Methods. Research into processes of massif zonal fragmentation around mine workings was carried out by means of field experiments with the usage of methods of observation and estimation, mine surveying, massif unloading, deformation of boreholes and deep bench marks.

Findings. In industrial conditions, results of research into massif behavior around mine workings allowed to define the steady dependence of massif fragmentation depth on the depth of workings contour destruction. It is established that the form of destruction contours of the development and stope ore tend to ellipsoidal shape, the steadiest form of mine working. The change of massif deformation depth across the contours of stoping chambers is mainly realized along power dependence, while in adjoining preparatory workings it is realized on exponential dependence.

Originality. Systematization of processes of massif zonal fragmentation around mine workings with the purpose of rock pressure usage in technologies of ore deposits mining.

Practical implications. The steady form of developing and stoping workings contour destruction is defined and dependences of massif deformation depth change containing workings are established.

Keywords: industrial methods of research, stress-strain state, stoping and development workings, depth of workings contour destruction, zonal destruction of the massif

1. ВВЕДЕНИЕ

Промышленные исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород исследуются с помощью трех основных видов методов. Первые базируются на измерении деформаций и, при необходимости, расчете по ним напряжений по формулам теории упругости. Это методы визуальные, маркшейдерские, разгрузки, компенсационной нагрузки, измерения деформаций скважин и глубинных реперов. Вторые основываются на измерении давления в устанавливаемых на объекте приборах и определении по ним напряжений с помощью расчетов или на основании тарировки. Это

методы разности давлений и упругих включений. Третьи определяют ряд физических характеристик массива горных пород геофизическими методами и расчетом по ним напряжений с помощью различных корреляционных зависимостей. Это акустический, ультразвуковой, радиометрический, электрометрический и геомагнитный методы (Trubetskoy, Kaplunov, Ryl'nikova & Radchenko, 2011; Laws, Eberhardt, Loew & Descouedres, 2003). Место выполнения исследования, используемые методы и объем опытов, замеров и собранных данных представлено в Таблице 1.

Таблица 1. Виды, места и объемы выполненных натурных исследований

Метод	Шахта	Горизонт, м	Вид выработок	Место замера	Объем и вид обследованных выработок
Наблюдения и оценки	"Проходческая"	665	Подготовительные	Кровля, бока	20 буровых ортов
		690			
	"Им. Ленина"	715			6 полевых штреков
		1050			
		507			
"Смолинская"	522	10 буровых штреков			
	"Эксплуатационная"	640, 665, 690, 715, 470, 775, 810	Очистные	Висячий бок	17 очистных камер
Разгрузка массива		740		Лежащий бок	
		840		Днище	
Деформация скважин	"Им. Ленина"	975		Висячий и лежащий бока	7 очистных камер
		1008		Лежащий бок	добычной блок (3 пары сближенных скважин)
Глубинные репера	"Проходческая"	300	Висячий бок	3 откаточных горизонта	
		640	Лежащий бок	(8 глубинных реперов)	

2. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Методы визуального наблюдения использовались при изучении участков разрушений на контуре выработок, которые предопределялись напряжениями, действующими в массиве пород. Это позволило по данным наблюдений в выработках, примыкающим к очистным камерам приблизительно оценить величины и направления действия главных напряжений, а также изменчивость поля напряжений в пределах изучаемого участка очистных работ. Данными методами были решены следующие задачи: оценена структура развивающихся деформаций в массиве горных пород, ориентировочно определены величины и направление действия главных напряжений, проведено качественное сравнение степени напряженности на разных глубинах проведения выработок (Khomenko & Kononenko, 2010; Kuz'menko, Furman & Usatyy, 2010).

Визуальную оценку напряжений, которые действовали в примыкающих к очистным камерам подготовительно-нарезных выработок, выполняли в условиях отработки запасов руд на горизонтах 665, 690 и 715 м шахты "Эксплуатационная" ЧАО "ЗЖРК" (Russkih, Lapko & Zubko, 2012; Russkikh, Yavors'kuu, Chistyakov & Zubko, 2013), горизонтах 1008 и 1050 м шахты "Им. Ленина" ПАО "КЖРК" (Homenko, Yavorskiy & Malcev, 2005; Carikovskiy & Sirotyuk, 2013), горизонтах 507 и 522 м шахты "Смолинская" ГП "ВостГОК" (Stupnik, Kalinichenko, Fedko & Mirchenko, 2013; Stupnik, Fedko, Pismennyu & Kolosov, 2014) следующим образом. Первоначально проводили визуальные обследования всех доступных выработок, примыкающих к очистным камерам, с целью выявления закономерностей формирования областей интенсивного разрушения руд и пород. Обследованию подлежали закрепленные с помощью анкеров, набрызг-бетона и комбинированных крепей, а также незакрепленные горизонтальные подготовительные и нарезные выработки. Отмеченные места разрушений наносили на планы

горных работ, а сами выработки фотографировали для более детального анализа. Затем данные классифицировали с учетом интенсивности разрушений и положения участков разрушений относительно контура выработок.

Методы маркшейдерских измерений закономерностей деформирования и разрушения массива пород, возникающие в результате проведения горных выработок, проводились на 7 подэтажных и этажных горизонтах шахты "Эксплуатационная" и включали измерения относительной конвергенции контуров обрушений пород в очистных камерах после завершения добычных работ. При выполнении замеров величин разрушений использовалось геометрическое нивелирование и маркшейдерские инструменты – тахеометр и лазерная рулетка. Нивелирные хода прокладывались от реперов, расположенных в нарезных выработках, которые примыкали к очистным камерам. В результате обследования 17 камер было установлено, что после окончания ведения очистных работ основными видами проявления горного давления являются растрескивание и обрушение руды, породы и массива закладки в висячем и лежащем боках и наклонном днище камер (Рис. 1, 3б, е).

Метод разгрузки основан на использовании характеристик упругого восстановления формы элемента породы при искусственном отделении его от массива (Falshtynskiy, Dychkovskiy, Lozynskiy & Saik, 2015). Для определения напряжений на поверхности горных выработок использовался метод частичной разгрузки, который в отличие от основного метода разгрузки, не обладает низкой надежностью определения напряжений, от которых в значительной степени зависит обоснованность принятых значений модуля упругости и коэффициента Пуассона. Порядок выполнения работ состоял в том, что на площадке поверхности выработки исследовали поведения массива по состоянию эксплуатационных скважин, пробуренных в нормальном направлении к площадке (Рис. 1в, ж).

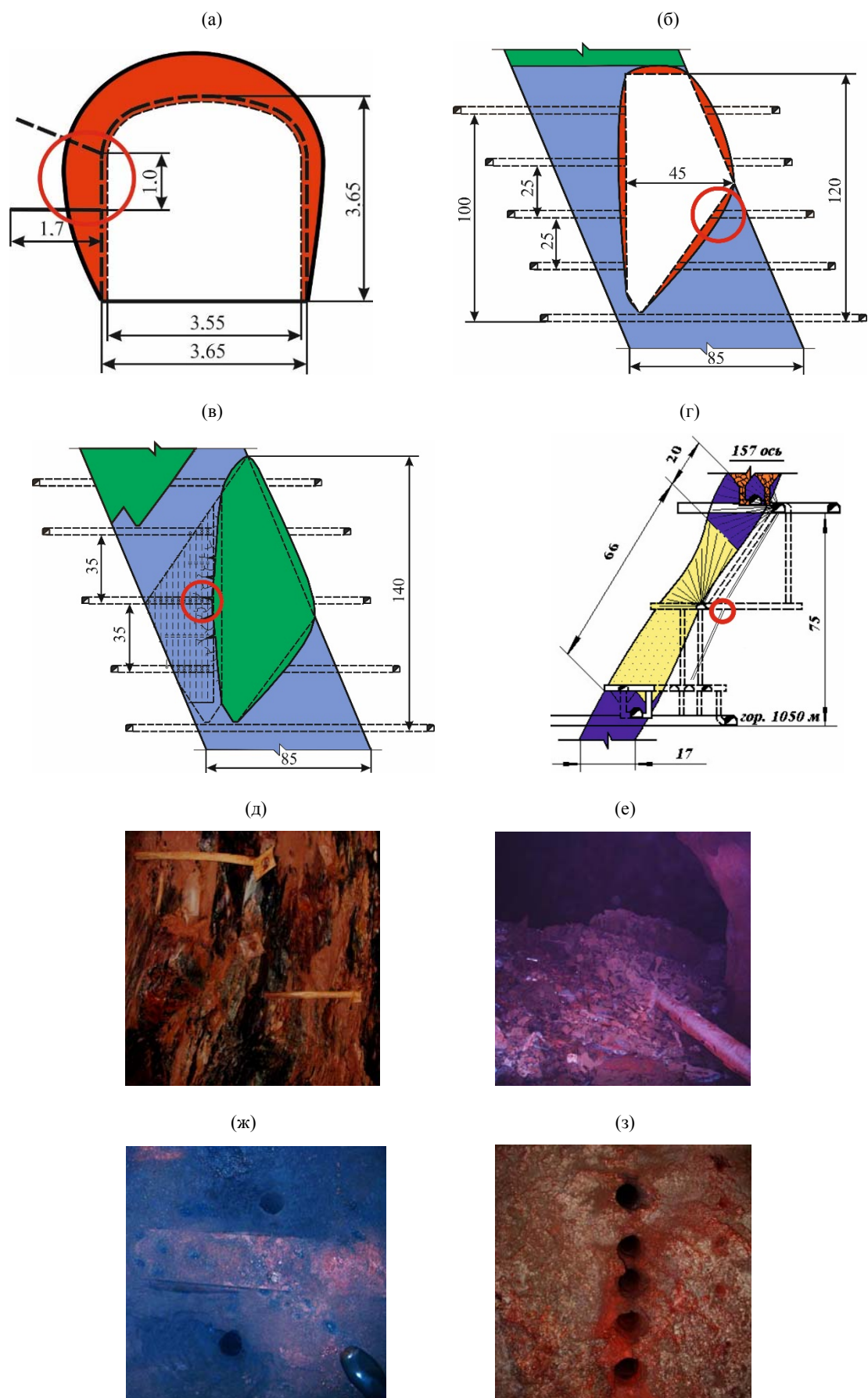


Рисунок 1. Схемы выполнения исследований (а – г) и внешний вид объектов (д – з) натуральных исследований глубины разрушения массива горных пород с использованием визуальных методов (а, д); методов маркшейдерских измерений (б, е); частичной разгрузки массива (в, ж); деформации скважин (з, з), где красные круги на схемах (а – г) – места фотофиксации объектов (д – з)

В результате бурения скважин изменялось напряженное состояние массива руды в непосредственной близости от скважин и при измерении деформации горных пород, представлялась возможность приближенно определить значения действовавших напряжений до бурения скважин из буровых подэтажных выработок на горизонтах 740 и 840 м ЧАО “ЗЖРК”.

Разновидностью метода деформации скважин является метод *каротажа скважин*. Этот метод позволяет устанавливать не только раскрытие трещин, но и места нарушения целостности пород по длине скважин. Для изучения процесса разрушения обследованию и периодическому осмотру подлежат конструктивные элементы блока (целики, кровли, обнажения камер). Для оценки относительных напряжений, действующих в массиве пород, выбуривали параллельно-сближенные скважины в породах лежачего бока блока 150 – 159 залежи “8 П” в этаже 1050 – 975 м шахты “Им. Ленина” ПАО “КЖРК”, где метод деформации скважин использовался без применения деформометров (Рис. 1з, э). Контроль состояния пород лежачего бока в очистной камере производился путем каротажа параллельных скважин. Оперативный контроль исключил ошибочное разбуривание и обрушение пород при взрывании приконтурных эксплуатационных скважинах.

Расположение *глубинных реперов* производилось по длине скважин, которые устанавливали совместно с детальным изучением геологического строения горных пород. Относительные смещения массива пород на разных расстояниях от выработок измеряли с помощью глубинных реперов, оборудованных проволоочной связью с точками замера. В одной скважине закладывали по несколько реперов. Смещения определялись относительно глубинных реперов, которые закладывали вне зоны влияния горной выработки относительно репера в выработке. Метод был использован на ЧАО “ЗЖРК” для контроля смещения вмещающих пород месторождения, а также массива руды в интервале горизонтов 480 – 640 м с помощью 8 глубинных реперов. Анализ измерений и данных по станциям глубинных реперов показал, что на глубинах 300 – 600 м и более закладка предотвращает полное сдвижение вмещающих пород, особенно висячего бока.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ состояния 20 буровых ортов на горизонтах 665, 690 и 715 м шахты “Эксплуатационная” позволил установить, что после завершения очистных работ в камерах основными видами проявления разрушений являются растрескивание и обрушение руды с креплением в кровле и боках выработок. На горизонте 690 м по длине буровых ортов проявление происходит на расстояниях 4 – 16 м от камер в сторону пород висячего бока, а на горизонте 715 м – на расстоянии 18 – 44 м. В ортах горизонта 665 м негативные проявления происходили на расстоянии до 20 м от камер в сторону пород лежачего бока (Рис. 2).

Так, например, были зафиксированы обрушившиеся с анкеров куски руды в левом боку бурового орта 10с горизонта 690 м со стороны висячего бока в 15 – 18 м от очистной камеры 1/10с.

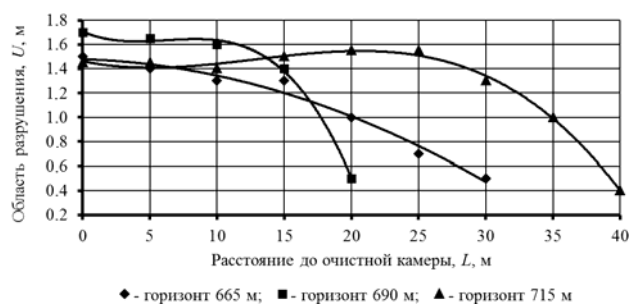


Рисунок 2. Изменение глубины разрушения контура буровых ортов в зависимости от расстояния до очистных камер

Обрушение закрепленного рудного массива разбивается со стороны камеры. Размеры отслоившихся кусков руды достигали 1 м. У левого бока орта, а также по кровле, наблюдаются незначительные трещины размерами 0.005 – 0.01 м. Расстояние между трещинами составляло 0.5 – 1.5 м. Все анкера деформированы. Крепление буровых ортов на всем их протяжении не производили в связи с тем, что срок службы этих выработок составляет менее 18 месяцев, за исключением мест с повышенной трещиноватостью, где и устанавливались анкера (Рис. 1а, д).

Для кровли нарезных выработок горизонта 715 м максимальная глубина области разрушения достигала 1.7 м. В этих местах выработок интенсивно проявлялось отслоение кусков руды вплоть до формирования свода естественного равновесия. Со стороны правого бока выработок величина области разрушения достигала 1.35 м и проявлялась в виде призм сползания. На всех трех подэтажах 665, 690 и 715 м величина области разрушения U от расстояния до очистных камер L изменялась по степенным зависимостям (Рис. 2).

Для кровли буровых выработок горизонта 665 м, пройденных со стороны лежачего бока, разрушение массива пород описывалось зависимостью:

$$U = -0.0001L^2 - 0.0036L + 1.48. \quad (1)$$

Для кровли буровых выработок горизонта 690 м, пройденных с висячего бока:

$$U = -0.0005L^3 + 0.01L^2 - 0.05L + 1.71. \quad (2)$$

Для кровли буровых выработок горизонта 715 м, пройденных с висячего бока:

$$U = -0.0001L^3 + 0.003L^2 - 0.023L + 1.46. \quad (3)$$

На шахте “Им. Ленина” состояние массива исследовали по примыкающим к камерам этажных и подэтажных подготовительных выработкам. Глубина заложения штреков и ортов составляла H = 900 – 1200 м, средняя прочность пород висячего бока 170 МПа и лежачего бока залежей 80 МПа. Из Рисунка 3 видно, что при прочности пород более 140 – 160 МПа разрушение контура выработки практически отсутствуют. В связи с этим была получена зависимость глубины разрушения контура выработки при изменении прочности пород $\sigma_{с.ж.}$, глубины заложения выработки H и удаленности от очистной камеры L (Рис. 3).

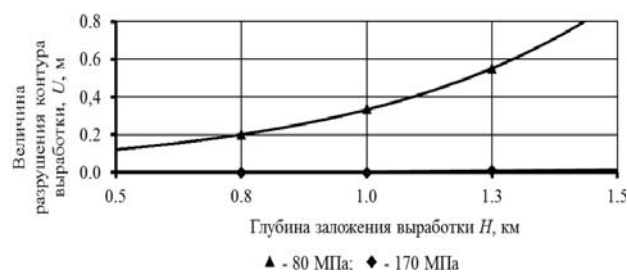


Рисунок 3. Изменение глубины разрушения контура подготовительных выработок

Полученная зависимость имеет вид:

$$U = 1.9 - \sigma_{сж} \cdot 0.137e^{-0.0013H/L}. \quad (4)$$

Подобные исследования выполнялись и на шахте “Смолинская”, где были обследованы 10 буровых штреков в 5 добычных блоках: №№ 554-3; 504-6; 554-2с; 504-3,4; 554-1. Для массива руды, вмещающего очистные камеры, результирующая эмпирическая зависимость величин разрушения в боках камер по простиранию залежи, имеют вид:

$$U = 0.0003L_k^3 - 0.06L_k^2 + 3.65L_k - 39.14. \quad (5)$$

Детальный анализ проектных и фактических размеров очистных камер, отработанных на горизонтах 740 и 840 м, данные по которым представлены в Таблице 2, позволили выявить линейные зависимости, описывающей максимальные величины разрушений U при изменении глубины заложения камер H_к.

Для массива, окружающего первичные очистные камеры, эмпирические зависимости величины разрушения в висячем боку камер, имеет вид:

$$U = 0.07H_k - 45; \quad (6)$$

– величина разрушений в лежащем боку камер:

$$U = 0.0175H_k - 11.03; \quad (7)$$

– величина разрушений в днище камер:

$$U = 0.0125H_k - 4.83. \quad (8)$$

Анализ результатов состояния эксплуатационных скважин по 9 очистным камерам (6 шт. на горизонте 740 м и 3 шт. – на 840 м) показал, что на расстоянии 10 м от каждого взрываемого веера возникают относительные деформации массива в пределах 0.1–0.3 мм/м, на расстоянии 60 м – менее 0.01 мм/м. Вокруг зон интенсивного влияния взрыва область расслоения масса достигала 0.3–1.5 м от контура, а общее влияние очистных работ проявлялось на 15–20 м (Табл. 2). Зависимость, описывающая глубину влияния очистных камер на состояние вмещающего массива, имеет вид:

$$U = 0.0175H_k - 11.03. \quad (9)$$

Параллельные сближенные скважины были пробурены из бурового подэтажного штрека 154 МО горизонта 1040 м, буровых ортов 160 МО горизонтов 1008 и 975 м шахты “Им. Ленина” ПАО “КЖРК”. Расслоения и обрушения пород лежащего бока, в которых были пробурены каротажные скважины на расстоянии 5–8 м от обнажения, не наблюдались.

Полученная зависимость глубины разрушения контура лежащего бока в очистной камере имеет вид:

$$U = \frac{1 - 0.0067\sigma_{сж}}{(0.9H_k)^{-1}}. \quad (10)$$

Установлено, что конвергенция смежных камер до закладки в период твердения смесей составляет 0.3–0.4 м, которая складывается главным образом из расслоения приконтурного массива, а конвергенция до полного твердения смесей превысила 1 м. Прочность закладки от 2 до 6 МПа и потенциальных напряжений в массиве 8.8–21.8 МПа исключают возможность восприятия массивом закладки развивающегося горного давления на ЧАО “ЗЖРК”:

– для пород висячего бока залежи:

$$U = 1.111e^{-0.1453L}; \quad (11)$$

– для пород лежащего бока залежи:

$$U = 8.53e^{-0.062L}. \quad (12)$$

Таблица 2. Исследуемые размеры очистных камер на буровых подэтажах главных откаточных горизонтов 740 и 840 м вкост простирания залежи

№ камеры	горизонт 640 м		горизонт 665 м		горизонт 690 м		горизонт 715 м	
	проект	факт	проект	факт	проект	факт	проект	факт
1/9с	20	22	18	21	25	27	37	39
1/9ю	35	43	46	49	39	43	21	27
2/13ю	30	39	36	38	47	50	40	48
2/1с	40	45	54	55	56	57	40	47
1/3с	14	18	28	32	42	49	26	39
1/10с	26	42	20	31	20	21	26	27
1/3ю	35	38	45	50	45	47	26	29
1/8с	23	28	22	27	22	27	25	33
1/7ю	30	40	46	54	41	49	22	26
1/1ю	52	55	59	60	45	49	25	30
1/5ю	24	32	31	39	38	40	21	25
1/5с	42	44	42	43	33	35	29	32
№ камеры	горизонт 715 м		горизонт 740 м		горизонт 775 м		горизонт 810 м	
	проект	факт	проект	факт	проект	факт	проект	факт
2/5ю	13	34	32	42	38	38	25	25
2/3ю	9	31	25	42	38	38	24	31
2/7ю	28	54	26	45	28	34	20	25
2/1ю	25	32	28	34	40	40	29	35
2/3с	11	13	25	25	42	43	27	27

Натурные исследования поведения массива горных пород вокруг выработок позволили определить устойчивое отношение глубины разрушения массива от габаритных размеров выработок, которые находились в интервале 0.05 – 1.24 диаметра выработки. Форма этих областей для подготовительных и очистных вы-

работок стремилась к эллипсоидной – максимально устойчивой форме горной выработки. Установлено, что изменение величин деформации массива по контуру очистных камер реализуется по степенным зависимостям, а в примыкающих к ним подготовительных выработках – по экспоненциальным (Табл. 3).

Таблица 3. Результаты промышленных исследований глубины разрушения массива

Метод исследования	Интервал исследуемых глубин, м	Габариты обследуемых выработок, $h \times d$ и $h_k \times l_{np}$, м	Диапазон глубины разрушения массива, U , м	Относительная глубина разрушения, $(U+0.5h)/0.5h$
Наблюдения и оценки	522 – 1050	3.0×3.5	0.4 – 1.7	1.26 – 2.13
Маркшейдерские съемки	640 – 840	35.0×120.0	1.0 – 26.0	1.06 – 2.48
Разгрузка массива	740 – 840	35.0×130.0	0.3 – 20.0	1.02 – 2.14
Деформация скважин	975 – 1050	70.0×60.0	1.0 – 4.0	1.03 – 1.11
Глубинные репера	300 – 640	35.0×120.0	0.3 – 1.0	0.10 – 1.06

Возможность инструментальной регистрации и визуального наблюдения явления зонального капсулирования горных выработок открывается при проникновении в область массива измерительными скважинами, например, при разрушении на контуре скважины появились трещины зонального разрушения. Однако, инструментальные методы не позволяют зарегистрировать скачок тангенциальных и радиальных напряжений, обусловленный формированием зонального капсулирования выработок. При этом на исследуемых глубинах 507 – 1050 м средние значения напряжений оставались в доверительном интервале разброса экспериментальных значений. Если в результате перераспределения напряжений максимальные их значения достигали или превышали величину γH , то были локализованы в некоторых областях массива и не вызывали внимания для проведения дальнейших исследований.

4. ВЫВОДЫ

Исследование процессов зонального разрушения массива выполнялось с помощью натуральных экспериментов показало, что изменение глубины разрушения контуров очистных камер реализуется в основном по степенным зависимостям, а примыкающих к ним подготовительным выработкам в большей степени – по экспоненциальным. По 36-ти подготовительным выработкам и 25-ти очистным камерам, расположенным в интервале глубин 507 – 1008 м, было установлено эллипсоидную форму областей деформации массива.

Выполненные исследования явления зонального структурирования массива вокруг горных выработок с помощью широко применяемых промышленных методов исследования не позволили установить точное количество, размеры и форму энергетических зон, выявить синусоидально затухающие напряжения и кольцевые области деформации. Это говорит о научной проблеме, ранее не имевшей методов решения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

За предоставление исследовательской базы и оказанную поддержку при проведении промышленных экспериментов авторы выражают благодарность техническому директору ПАО “Криворожский ЖРК” В.С. Ричку, директору по производству ЧАО “Запорожский ЖРК” В.Ю. Усатому и главному инженеру ГП “Восточный ГОК” В.Н. Пухальскому.

REFERENCES

- Carikovskiy, V., & Sirotyuk, S. (2013). Sistemy razrabotki krutopadayuschih zalezhey s samoobrusheniem rudnogo massiva. *Hirnychyy Visnyk KNU*, (97), 65-68.
- Falshytskyi, V., Dychkovskiy, R., Lozynskiy, V., & Saik, P. (2015). Analytical, laboratory and bench test researches of underground coal gasification technology in National Mining University. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 97-106. <http://dx.doi.org/10.1201/b19901-19>
- Homenko, O., Yavorskiy, V., & Malcev, D. (2005). Tehnologiya ochistnyh robot v oblastyakh ohrannyh celikov, razgruzhennyh vyrabotannym prostranstvom shahty. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (7), 22-25.
- Khomenko, O., & Kononenko, M. (2010). Natural researches of behaviour of the rock mass around primary extraction cameras. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (9-10), 21-24.
- Kuz'menko, A., Furman, A., & Usaty, V. (2010). Perfection of systems of working out of deposits of iron ores of deposits with a hardening bookmark on the big depths. *New Techniques And Technologies In Mining 2010*, 131-136. <http://dx.doi.org/10.1201/b11329-22>
- Laws, S., Eberhardt, E., Loew, S., & Descoedres, F. (2003). Geomechanical properties of shear zones in the Eastern Aar Massif, Switzerland and their implication on tunnelling. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 36(4), 271-303. <http://dx.doi.org/10.1007/s00603-003-0050-8>
- Russkikh, V., Lapko, V., & Zubko, S. (2012). Development and adoption of new technical decisions for development of Yuzhno-Belozerskoye ore deposit under difficult mining and geological conditions. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 34-38.
- Russkikh, V., Yavors'ky, A., Chistyakov, Y., & Zubko, S. (2013). Study of rock geomechanical processes while mining two-level interchamber pillars. *Mining Of Mineral Deposits 2013*, 149-153. <http://dx.doi.org/10.1201/b16354-26>
- Stupnik, N. I., Fedk, M. B., Pismennyim, S. V., Kolosov, V. A. (2014). Development of recommendations for choosing excavation support types and junctions for uranium mines of state-owned enterprise “SkhidHZK” *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 21-25.
- Stupnik, N., Kalinichenko, V., Fedko, M., & Mirchenko, E. (2013). Influence of rock massif stress-strain state on uranium ore breaking technology. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 11-16.

Trubetskoy, K.N., Kaplunov, D.R., Ryl'nikova, M.V., & Radchenko, D.N. (2011). New approaches to designing re-

source-reproducing technologies for comprehensive extraction of ores. *Journal of Mining Science*, 47(3), 317-323. <http://dx.doi.org/10.1134/S1062739147030087>

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Метою роботи є виявлення зонального руйнування масиву навколо підземних виробок за допомогою промислових методів дослідження.

Методика. Дослідження процесів зонального руйнування масиву навколо підземних виробок виконувалося за допомогою натурних експериментів з використанням методів спостережень і оцінок, маркшейдерських зйомок, розвантаження масиву, деформації свердловин і глибинних реперів.

Результати. У промислових умовах отримані результати досліджень поведінки масиву гірських порід навколо підземних виробок, які дозволили визначити стійке співвідношення глибини руйнування масиву. Встановлено, що форма руйнування контуру підготовчих і очисних виробок прагнула до еліпсоїдної, що є максимально стійкою формою гірничої виробки. Зміна глибини деформації масиву по контуру очисних камер реалізується в основному за ступеневу залежністю, а в прилеглих до них підготовчих виробках – в більшій мірі за експонентною.

Наукова новизна. Складається в систематизації процесів зонального руйнування масиву навколо підземних виробок з метою використання енергії гірського тиску в технологіях розробки рудних родовищ.

Практична значимість. Визначена стійка форма руйнування контурів підготовчих і очисних виробок і встановлені залежності зміни глибини деформації масиву, що вмщує виробки.

Ключові слова: промислові методи дослідження, напружено-деформований стан, очисні і підготовчі виробки, глибина руйнування контуру виробок, зональне руйнування масиву

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Целью работы является выявление зонального разрушения массива вокруг подземных выработок с помощью промышленных методов исследования.

Методика. Исследование процессов зонального разрушения массива вокруг подземных выработок выполнялось с помощью натурных экспериментов с использованием методов наблюдений и оценок, маркшейдерских съемок, разгрузки массива, деформации скважин и глубинных реперов.

Результаты. В промышленных условиях получены результаты исследований поведения массива горных пород вокруг подземных выработок, которые позволили определить устойчивое отношение глубины разрушения массива. Установлено, что форма разрушения контура подготовительных и очистных выработок стремилась к эллипсоидной – максимально устойчивой форме горной выработки. Изменение глубины деформации массива по контуру очистных камер реализуется в основном по ступенным зависимостям, а в примыкающих к ним подготовительных выработках – в большей степени по экспоненциальным.

Научная новизна. Состоит в систематизации процессов зонального разрушения массива вокруг подземных выработок с целью использования энергии горного давления в технологиях разработки рудных месторождений.

Практическая значимость. Определена устойчивая форма разрушения контуров подготовительных и очистных выработок и установлены зависимости изменения глубины деформации массива, вмещающего выработки.

Ключевые слова: промышленные методы исследования, напряженно-деформированное состояние, очистные и подготовительные выработки, глубина разрушения контура выработок, зональное разрушение массива

ARTICLE INFO

Received: 10 November 2015

Accepted: 11 January 2016

Available online: 30 March 2016

ABOUT AUTHORS

Oleg Khomenko, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 4/58, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: koordin@rudana.in.ua

Maksym Kononenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 4/58, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: kmn211179@gmail.com

Maksym Netecha, The head of innovation department of National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 10/607, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: Netecha_m@mail.ru