

УДК 622.26

О.Е. Хоменко, Д.В. Мальцев

## К ОБОСНОВАНИЮ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ГП «ВостГОК»

Визначено недоліки технології гірничих робіт, яка існує на шахтах ДП «СхідГЗК». Визначено мету та методи проведення досліджень, основні задачі та очікувані результати. Розроблено розрахункову схему аналітичного моделювання масиву навколо очисної камери. Змодельовано напружено-деформований стан розвантаженого масиву руди. Визначено характер впливу очисного простору камери на нарізні виробки блоку.

Определены недостатки технологии горных работ, которую внедрили на шахтах ГП «ВостГОК». Определены цель и методы проведения исследований, основные задачи и ожидаемые результаты. Разработана расчетная схема аналитического моделирования массива, который окружает очистную камеру. Смоделировано напряженно-деформированное состояние разгруженного массива руды. Определен характер влияния очистного пространства камеры на нарезные выработки блока.

The disadvantages of the technology of mining which has been implemented at SI “WostGOK” are defined. The purposes and methods for research, the main tasks and expected results are defined. The shame analytical of rock massif modeling, near mining room, is developed. The character of influence of room mining space to workings on the bloc is determined.

**Постановка проблемы.** Современные объемы добычи урановых руд в мире обеспечивают потребности атомных электростанций на 60%. Имеющийся дефицит в добыче перекрывается наличием стратегического запаса. Существующие темпы возрастания объемов добычи природного урана стабилизировались на отметке 6,7% в год. По прогнозам МАГАТЕ и мировой ядерной ассоциации (WNA), мировые потребности в уране до 2020 года ежегодно будут возрастать на 0,85% и достигнут 75 тыс. т/г. Всевозрастающий дефицит урана в мире способствует постоянному возрастанию цен вплоть до уровня 80\$ за 1 кг.

Добыча железных и урановых руд на шахтах Украины осуществляется в основном камерными системами разработки. С помощью этих систем в ОАО «Криворожский железорудный комбинат» добывают до 71%, а в ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» и ГП «Восточный горно-обогатительный комбинат» 100% природно-богатых железных руд.

**Связь проблемы с научно-практическими заданиями.** Производство урановых руд, как стратегического сырья Украины, сопряжено с повышенными затратами на их добычу. Это необходимость применения систем разработки с поддержанием выработанного пространства, проведения радиационного контроля, опережающего бурения, что существенно снижает технико-экономические показатели добычи. С момента широкого внедрения камерных систем разработки на Ватутинском месторождении они не претерпели изменения до сегодняшних дней. Огромный потенциал ресурсосбережения, который заложен в системах, с начала 60-х годов был практически не использованным.

**Анализ последних публикаций.** Для шахты «Смолинская» ГП «ВостГОК» была запроектирована и реализуется этажно-камерная система разработки поэтажными штреками с поочередной выемкой блоков и заполнением выработанного пространства твердеющей закладкой (рис. 1) [1].

**Выделение нерешенной задачи.** Одним из основных технологических процессов, оказывающих существенное влияние на себестоимость добываемой руды, является процесс бурения и взрывания эксплуатационных скважин. С понижением уровня горных работ и возрастанием напряженно-деформированного состояния массива возрастает негативное влияние на технологию и технико-экономические показатели добычи руды и заполнения выработанного пространства твердеющими смесями.

**Постановка задания.** Отсутствие достаточного научного обоснования при выборе способов расположения веерообразных скважин способствует снижению безопасности горных работ, перерасходу материалов и энергии и как следствие – снижению безопасности и повышению себестоимости добычи. Таким образом, обоснование рациональных способов расположения эксплуатационных скважин, имеет актуальное значение для атомно-энергетического комплекса Украины.

**Основная часть.** Проведенный авторами анализ научно-исследовательских работ в области разработки мощных залежей камерными системами разработки показал, что недостаточно изучено влияние очистного пространства на окружающий массив горных пород и, следовательно, на разбурываемые и обрушаемые слои руды в очистных блоках.

Вследствие чего основной идеей научно-исследовательской работы стало использование технологическими параметрами буровзрывных работ эффекта разупрочнения руды, возникающего в прилегающем к очистной камере массиве.

В свете вышеизложенного, целью выполняемых исследований является обоснование рациональных параметров расположения эксплуатационных скважин с учетом изменения напряженно-деформированного состояния массива, вызванного влиянием очистных работ.

Для реализации цели поставлены и успешно решаются следующие задачи:



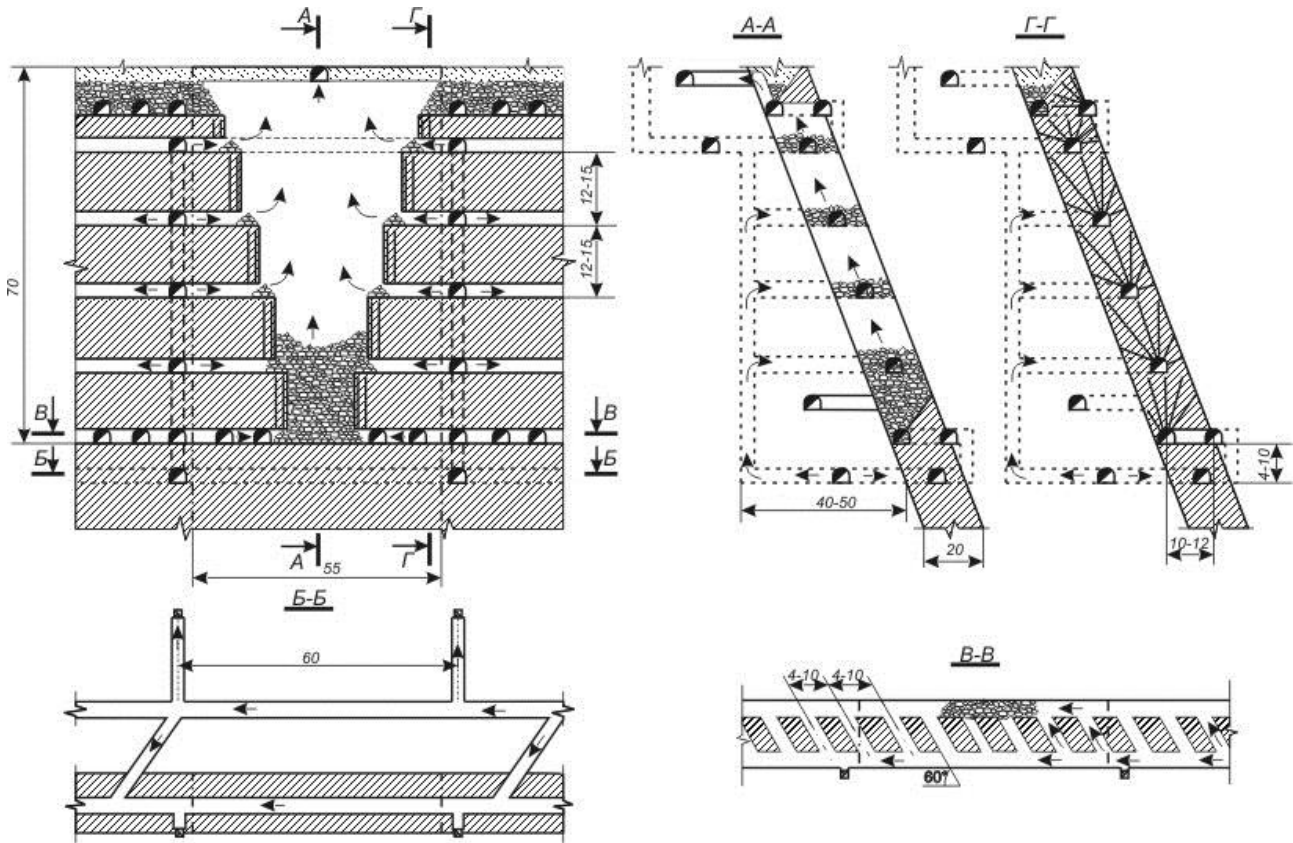


Рис. 1. Этажно-камерная система разработки с отбойкой руды из подэтажных рудных штреков и заполнением выработанного пространства твердеющей закладкой.

1. Исследовать поля напряжений, области деформации массива и выявить закономерности их распространения в зоне разгрузки очистного пространства с помощью теоретических, лабораторных и промышленных опытов.

2. Разработать технологию расположения эксплуатационных скважин, учитывающую влияние очистного пространства на параметры буровзрывных работ.

3. Определить экономическую эффективность внедрения разработанных технологических решений в производство.

Для решения поставленных задач нами используется комплексный метод исследования, который включает анализ материалов научно-исследовательских работ и проектно-технических источников по вопросам залегания и разработки крутопадающих залежей, а также аналитические, физические и натурные исследования. Аналитические исследования выполнены с помощью термодинамического метода, лабораторные планируются на эквивалентных материалах, а натурные – методом каротажа скважин и обработки производственной информации.

Методика теоретического исследования поля напряжений в окружающем очистное пространство массиве термодинамическим методом, который включает следующие этапы: определение физических свойств исследуемого массива горных пород, определение уровня напряженности нетронутого массива,

определение поля напряжений в окружающем очистную камеру массиве горных пород. Определение физических свойств и напряженного состояния массива руд, вмещающих пород и массива закладки производится по методике, изложенной в работе [2]. Ее суть сводится к определению параметров нетронутого массива вдоль вертикального профиля. Расчетный профиль распространяется от поверхности к исследуемой очистной камере.

Для всех пластов разнородных вмещающих пород и руд определяются параметры, характеризующие напряженно-деформированное состояние массива и его физико-механические свойства. Текущей координатой является глубина пересечения расчетным профилем контактов напластования различных пород.

Определение параметров нетронутого массива горных пород и его физических свойств, производили в программе Microsoft Excel 2000. Расчету подвергли профиль по шахте «Смолинская». В таблице приведены параметры напряженности нетронутого массива пород для спектра исследуемых глубин шахты.

Помимо этого, разработаны расчетные схемы аналитического моделирования процессов, протекающих в окрестности очистной камеры в плоской (рис. 2) и объемной (рис. 3) постановках задач.

Таблица

Упругие потенциальные напряжения  
в нетронутом массиве пород шахты «Смолинская»  
ГП «ВостГОК»

Глубина $H$ , км	Давление $P$ , МПа	Потенциальные напряжения в нетронутом массиве, МПа		Коэффициент формы зоны разгрузки, $\lambda_{оп}$	Угол между $\sigma_{1(y)}$ и горизонтом, $\theta$ град	Главные напряжения в нетронутом массиве, МПа		
		$\Delta\sigma_{x(y)}$	$\Delta\sigma_{z(y)}$			$\sigma_{1(y)}$	$\sigma_{2(y)}$	$T_{max}$
0,25	7,5	3,82	3,67	0,98	45,39	5,57	1,92	1,82
0,50	15,0	7,65	7,35	0,97	46,10	11,18	3,82	3,68
0,75	22,5	11,60	9,84	0,94	46,73	16,76	5,72	5,52
1,00	30,0	15,64	14,33	0,91	47,30	22,65	7,31	7,67

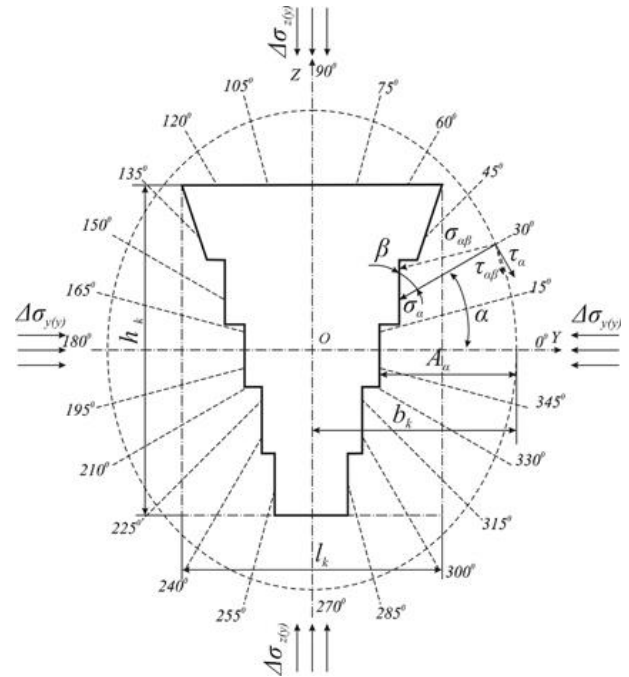


Рис. 2. Расчетная схема моделирования геодинамических процессов, протекающих в окрестности очистной камеры:  $\Delta\sigma_{z(y)}$  и  $\Delta\sigma_{x(y)}$  – вертикальные и горизонтальные потенциальные напряжения нетронутого массива пород, МПа;  $\alpha$  – угол между расчетной площадкой и осью  $OX$ , град;  $\beta$  – угол между направлением  $\sigma_\alpha$  и касательной в точке пересечения расчетной площадки с контуром очистной камеры, град;  $x$  – текущая координата положения точки на расчетной площадке, м;  $A_a$  – расстояние вдоль площадки от границы зоны разгрузки до контура очистной камеры, м;  $h_k$  – вертикальный пролет обнажения массива, м;  $l_k$  – горизонтальный пролет обнажения массива, м;  $O$  – центр очистной камеры, начало системы координат  $XYZ$ ;  $a$  – вертикальная полуось зоны разгрузки, направленная вдоль оси  $OZ$ , м;  $b$  – горизонтальная полуось зоны разгрузки, направленная вдоль оси  $OX$ , м;  $\sigma_\alpha$  и  $\tau_\alpha$  – радиальные и тангенциальные напряжения в нетронутом массиве, МПа;  $\sigma_{\alpha\beta}$  и  $\tau_{\alpha\beta}$  – радиальные и тангенциальные остаточные потенциальные напряжения, МПа

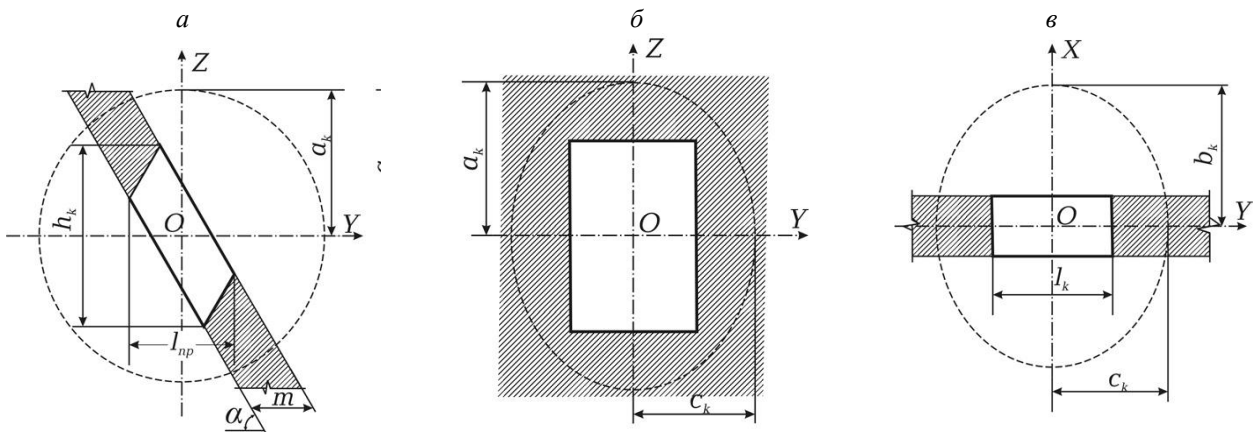


Рис. 3. Схема основных расчётных параметров теоретического моделирования в плоскостях  $ZOX$ ,  $ZOY$  и  $XOY$

В качестве примера моделирования можно рассмотреть формирование полей напряжений в массиве вокруг очистной камеры, которая обрабатывается в этаже 460-550 м и является среднестатистической камерой. К моделированию принимали усредненные геотехнические условия (глубина расположения геотехнического центра очистной камеры  $H = 500$  м, угол падения обрабатываемой залежи  $\alpha = 70^\circ$ , горизонтальная мощность залежи  $m = 8,4$  м, прочность пород всячего бока на одноосное

сжатие  $\sigma_{сж} = 140$  МПа, прочность пород лежачего бока на одноосное сжатие  $\sigma_{сж} = 160$  МПа).

Массив в зоне разгрузки, окружающий очистную камеру, характеризуется четырьмя основными областями концентрации напряжений (рис. 4). Располагаясь в породах всячего и лежачего боков, в массиве руды и закладки они являются областями сжатия и растяжения. Как в породах всячего, так и лежачего боков области растяжения частично «обволакивают» очистную камеру.

Основные области концентрации напряжений, присутствующие как радиальным (нормальным)  $\sigma_r$ , так и тангенциальным (касательным)  $\tau_p$  напряжениям.  $\tau_p$  характеризуются меньшими значениями напряжений. Оба вида напряжений формируют напряженно-деформированное состояние массива горных пород, а отношение между предельными напряжениями  $\sigma_p$  и  $\tau_p$  принимали равным  $\sigma_p = 0,9\tau_p$  [2].

Во всех исследуемых областях зоны разгрузки действуют растягивающие напряжения, которые в них изменяются по прямопропорциональным линейным зависимостям. Значения напряжений в массиве возрастают от границы зоны разгрузки в направлении обнажения массива очистной камерой.

Область интенсивных растягивающих напряжений

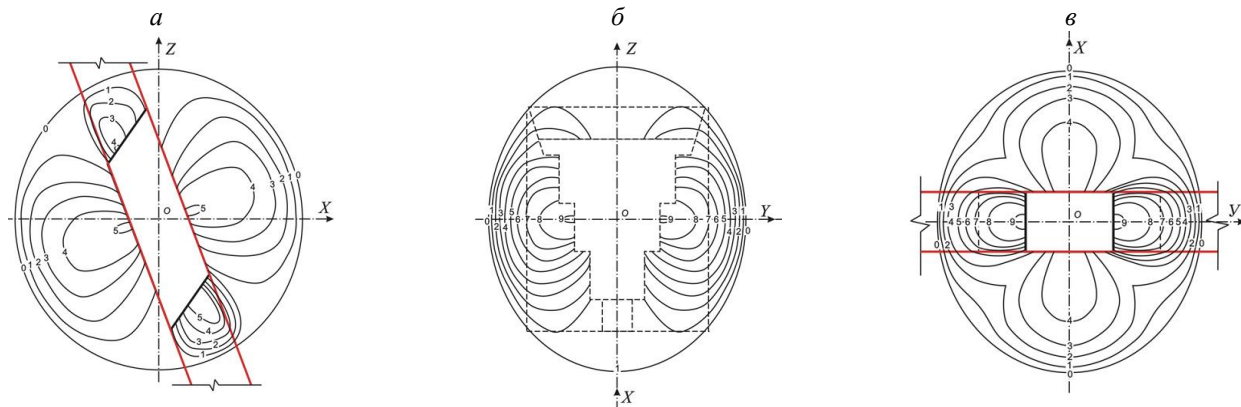


Рис. 4 Изолинии радиальных напряжений  $\sigma_r$  в массиве зоны разгрузки, окружающей очистную камеру в плоскостях  $ZOX$  (а),  $ZOY$  (б) и  $XOY$  (в), МПа

Область растягивающих напряжений расположена в массиве руды по простиранию залежи. Ее размеры составляют 88 м (см. рис. 4). Величина максимального растягивающего напряжения составляет 9,4 МПа или порядка 1,3  $\gamma H$ . Форма изолиний эллипсоидная.

**Выводы.** Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния массива, вмещающего очистную камеру, позволили: выявить основные области развития напряжений в массиве зоны разгрузки, вызванной очистной камерой на массив руды, пород и закладки; определить характер развития полей в основных областях зоны разгрузки напряжений; установить, что изменение тангенциальных напряжений  $\tau_p$  аналогично радиальным  $\sigma_r$  при меньших значениях напряженности.

Исследование напряженно-деформированного состояния массива, вмещающего очистную камеру, позволило выявить линейную зависимость изменения напряжений. Поэтому при определении степени влияния на устойчивость отбиваемых слоев руды необходим точный учет изменения НДС массива, вызываемого очистной камерой. Данное суждение получило существенную апробацию в условиях шахт ОАО «Криворожский железорудный комбинат» [3] и ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» [4].

расположена в породах висячего и лежащего боков. Ее размеры составляют 37 м (рис. 4, а). Величина максимального растягивающего напряжения составляет 5,3 МПа или порядка 2,5  $\gamma H$ . Форма распределения изолиний эллипсоидная.

Растягивающие напряжения преобладают в кровле камеры. Область имеет размеры 20 м (рис. 4, а). Величина максимального напряжения составляет 4,0 МПа, что эквивалентно 1,8  $\gamma H$ . Форма распространения изолиний также эллипсоидная.

Область растягивающих напряжений расположена в днище очистной камеры. Ее размеры достигают до 20 м. Максимальное растягивающее напряжение составляет 5,3 МПа или порядка 2,4  $\gamma H$ . Форма изолиний эллипсоидная, плавно примыкающая к днищу очистной камеры.

**Перспективы развития направления.** Конечным результатом исследования является технология буровзрывных работ, учитывающая изменения размеров очистных камер на качество отбойки. Ее внедрение на шахтах ГП «ВостГОК» позволит добиваться ресурсосбережения горных работ при повышении техники безопасности.

#### Список литературы

1. Видобуток та переробка уранових руд в Україні / М.І. Бабак, Ю.Й. Кошик, О.К. Авдеев та ін. – Вид. АДЕФ – Україна, 2001, – 237 с.
2. Лавриненко В.Ф. Преобразование энергии и формирование полей напряжений в массиве вокруг выработок // Изв. вузов. Горный журнал. – 1986. – № 4. – С. 5-11.
3. Хоменко О.Е., Кононенко М.Н., Мальцев Д.В. Крепление подготовительных выработок вблизи выработанного пространства железорудной шахты // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 3. – С. 5-7.
4. Бондаренко В.И., Хоменко О.Е., Кононенко М.Н. Технология крепления подготовительных выработок в условиях Южно-Белозерского железорудного месторождения // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 8. – С. 3-6.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бузилом 01.09.05