

чи руд в условиях Кривбасса (на примере Ингулецкого ГОКа) // Материалы международной конференции «Форум горняка – 2006». – Д.: Национальный горный университет, 2006. – С. 100-114.

4. Четверик М.С., Бабий Е.В. Технология предобогащения в карьерах как перспективное направление добычи бедных руд // Материалы международной конференции «Форум горняка – 2007». – Д.: Национальный горный университет, 2007. – С. 246-253.

5. Четверик М.С., Медведева О.А. Производственная мощность глубоких карьеров и технологические компоненты // Материалы международной конференции «Форум горняка – 2005», том 4. – Д.: Национальный горный университет, 2005. – С. 219-229.

6. Авдохин В.М., Губин С.Л. Современное состояние и основные направления развития процессов глубокого обогащения железных руд // Горный журнал, 2007. - № 2. – С. 58-64.

7. Четверик М.С., Бабий Е.В., Икол А.А. Формирование комплексов при технологии предобогащения руды в карьерах // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2007. - № 3. – С. 91-93

УДК 622.83

В.М. Тарасютин, канд. техн. наук,
С.С. Баштаненко, асп.,

Криворожский технический университет

ВЫБОР ПРОЛЕТОВ КАМЕР ПРИ ОТРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ЗАПАДНОГО ПЛАСТА ЖЕЛТОРЕЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

У статті наведена методика розрахунку еквівалентних прогонів очисних камер з урахуванням макроструктурної неоднорідності масиву при розробці залізистих кварцитів Жовторіченського родовища.

CHOICE OF FLIGHTS OF CHAMBERS AT WORKING OFF OF FERRUTEROUS QUARTZITES OF WESTERN LAYER ZHELTORECHENSKOGO OF THE DEPOSIT

In the article the method of calculation of equivalent tuning-ups of cleansing chambers is resulted taking into account macrostructure heterogeneity of array at development of ferrous quartzite of Zhovtorichenskogo of deposit.

Предприятие ООО «Восток-Руда» создает производство высококачественных железорудных концентратов на базе введения в подземную разработку залежи магнетитовых кварцитов Западный пласт Желтореченского месторождения, расположен в черте г. Желтые Воды [1]. Рациональная эксплуатация залежи бедных железных руд в условиях сохранения дневной поверхности требует освоения новой малоотходной ресурсосберегающей этажно-камерной системы разработки с применением мощного самоходного оборудования и последующей закладкой камер твердеющими смесями с использованием хвостов обогащения.

Условия механического равновесия очистных камер на любом из этапов ведения горных работ определяются геомеханическим состоянием рудовмещающего массива. Последнее всегда характеризуется изменяющимся в пространстве и времени полем напряжений, обусловленным начальным, геологическим по происхождению, геомеханическим состоянием массива и пространственной дифференциацией в нем напряжений вызванных развитием

выработанных пространств.

Экспериментальные и фактографические данные показывают [2], что начальное геомеханическое состояние конкретных породных массивов определяется как результат гравитационного давления вышележащих масс и действия региональных тектонических сил различного происхождения, проявляющихся в структурной и объемной дифференциации начальных напряжений в массивах. Структурная дифференциация проявляется в концентрации или разряжении региональных напряжений относительно средних их значений в данном массиве под влиянием гетерогенности физико-механических свойств структурных элементов и структурно-морфологических особенностей массива горных пород. Объемная дифференциация проявляется через изменение параметров физико-механических свойств горных пород при переходе от образца к структурному элементу массива и массиву в целом.

Целью исследований является установление зависимостей параметров устойчивых обнажений в очистных камерах начального этапа разработки Западного пласта от геомеханического состояния рудовмещающего массива и горнотехнических факторов разработки, которые позволяют обеспечить безопасную и экологичную добычу руды.

Сложная слоисто-складчатая структура Криворожских железорудных месторождений, интенсивная тектоническая нарушенность и результаты гидротермально-метасоматических процессов их формирования указывают на отсутствие в границах месторождений современных проявлений тектонических силовых полей. Экспериментальные измерения показывают, что максимальная компонента региональных напряжений вне зоны горных работ субвертикальна и в среднем равна $\gamma_H \pm 25\%$, а горизонтальные компоненты составляют $(0,4-0,8)\gamma_H$ [3, 4].

На Желтореченском железорудном месторождении в слоях магнетитогематитовых руд и вмещающих их щелочных сланцев величины главных начальных напряжений были измерены методом полной разгрузки [5]. Выявлено, что в пластообразной рудной залежи, характеризующейся более высоким модулем деформации, величины главных напряжений в общем случае выше, чем во вмещающих породах (сланцах), и измеренные величины максимальных и минимальных напряжений отличаются в 1,5-2 раза от рассчитываемых по гипотезе А.Н. Динника.

Таким образом, к числу факторов, влияющих на распределение исходных напряжений в неоднородном массиве, вмещающем Западный пласт, относятся параметры регионального гравитационного поля, геометрические и пространственные параметры структурообразующих элементов, их физико-механические свойства, взаимоотношение и условия взаимодействия.

Анализ геологической информации о месторождении показывает, что мощность чередующихся между собой пластообразных стратиграфических горизонтов кварцитов и сланцев колеблется от десятков до сотен метров, падают они под крутыми, до 90° , углами на глубину 1,5-2 км. Переход от слоя к слою в большинстве случаев диффузионный, связь между слоями жесткая.

Задача определения полей начальных напряжений в структурированном рудопородном массиве ставилась для условий плоской деформации (разрез вкрест простираения центральной части рудной зоны) в рамках линейной теории упругости неоднородных сред в поле действия сил гравитации. В качестве инструмента геомеханических исследований принят метод конечных элементов [6].

Рассматривалась прямоугольная область массива ABCD глубиной 800м и шириной 500м разделенная на 576 треугольных конечных элементов с размерами сторон 10-50м, вмещающая мощный крутопадающий ($\alpha = 90^\circ$) рудный слой и пласты безрудных горных пород (рис.1).

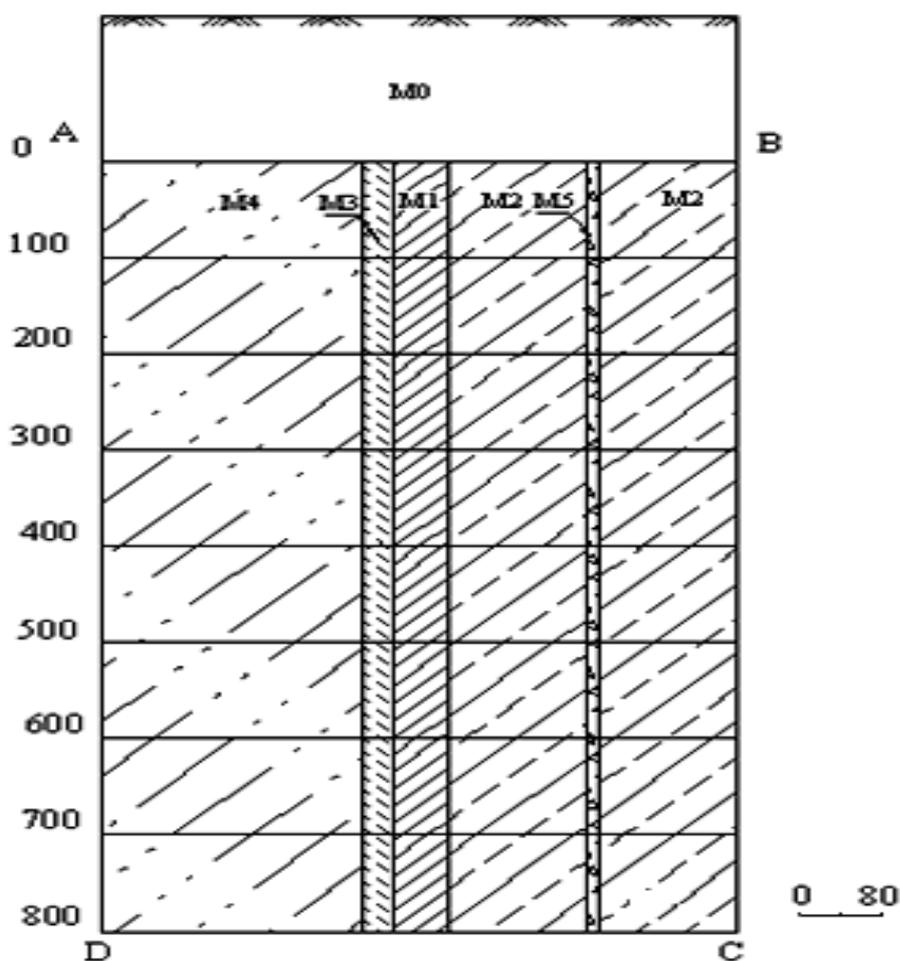


Рис. 1 – Геоструктурная модель месторождения магнетитовых кварцитов Западный пласт: M0 – налегающие породы; M1 - магнетитовые кварциты; M2 – куммингтонитовые сланцы; M3 – биотитовые сланцы; M4 - амфиболитовые сланцы; M5 – зона отработанных богатых руд с твердеющей закладкой

Граничные условия принимались следующие: на верхней границе области АВ нагрузка $\sigma_{yy}^0 = \gamma_p H_p$; $\sigma_{xy}^0 = 0$; на боковых границах AD и BC отсутствуют боковые смещения $U=0$; $\sigma_{xy}^0 = 0$; на нижней границе DC отсутствуют вертикальные смещения («жесткое дно») $V=0$, $\sigma_{xy}^0 = 0$. Здесь U и V соответственно горизонтальные и вертикальные смещения массива в поле сил гравитации, а

$\sigma_{yy}^0, \sigma_{xy}^0$ – вертикальные и касательные напряжения в декартовой системе координат, γ_n – объемный вес налегающих пород, H_n – мощность налегающих пород.

Обычно в задачах геомеханики физико-механические свойства массивов горных пород принимают на основании следующей зависимости:

$$f_i(\text{МГП}) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_i(M_k), \quad i = \gamma, \sigma, E \text{ и } \nu, \quad (1)$$

где $f_i(\text{МГП})$ и $f_i(M_k)$ – соответственно, физико-механические свойства массивов горных пород и структурообразующих элементов массива; $k=1, 2, \dots, n$ – количество структурных элементов массива; γ, σ, E и ν – соответственно, гравитационные, прочностные и деформационные свойства массива.

Значения γ, σ, E и ν определяются на образцах экспериментально или из справочной литературы. Средние данные о физико-механических свойствах образцов магнетитовых кварцитов и вмещающих их горных пород геологического разреза массива Западного пласта приведены в работах [3, 4, 7]. При этом указано, что прочностно-деформационные свойства зависят от степени метаморфизма, структуры, текстурных особенностей и минерального состава горных пород.

При оценке свойств горных пород в естественно-геологических условиях залегания (в массиве) необходимо учитывать трещиноватость массива. Известно, что практически все разновидности горных пород обладают в той или иной степени величиной раскрытия трещин, а массива следовательно – пустотностью, что снижает прочность и деформируемость пород по сравнению с показателями полученными на образцах. На прочность рассматриваемого массива горных пород в основном, оказывает влияние кливаж. Интенсивность кливажа в пластах горных пород меняется как по простиранию, так и по падению и от слоя к слою. Кливаж представляет собой густую сетку тонких закрытых трещин с расстоянием между ними от 5-10 до 30-50мм. Кливаж в мартитовых роговиках и джеспилитах снижает их механическую прочность в 1,4...3,0 раза [4, 7].

Влияние трещиноватости на модули деформации рассматриваемых горных пород учитывалось по формуле К.В. Руппенейта [8]:

$$E_m = \frac{E_o}{1 + \frac{5}{8} n \frac{\delta}{\varepsilon \cdot h}}, \quad (2)$$

где E_m и E_o – соответственно, модули деформации массива и образца породы, Па; n – число систем трещин; δ – ширина раскрытия трещин, м; h – расстояние между трещинами, м; $\varepsilon = 3 \cdot 10^{-4}$ – безразмерная площадь контактов трещин.

Для условий задачи с учетом сказанного выше в табл. 1 приведены расчетные параметры физико-механических свойств кварцитов Западного пласта и

вмещающих его пластов горных пород.

Таблица 1 - Прогнозные параметры физико-механических свойств кварцитов Западного пласта и пластов вмещающих горных пород

Структурный элемент	Разновидность горных пород	Мощность, м	$\rho \cdot 10^3$, Н/м ³	$[\sigma_c]$, МПа	$E \cdot 10^{-3}$, МПа	ν
M1	Магнетитовые кварциты	40	3,4	116	15	0,25
M2	Амфиболо-магнетитовые сланцы	240	3,0	98	7,7	0,22
M3	Биотитовые сланцы	20	2,8	56	3,2	0,22
M4	Амфиболовые сланцы	190	3,0	58	5,7	0,21
M5	Закладочный слой	10	2,6	2	2,8	0,3

Региональное (начальное) для всего Желтоводского месторождения поле напряжений в расчетах описывается компонентами:

$$\begin{cases} \sigma_{yy}^p = \gamma H \\ \sigma_{xx}^p = \beta \gamma H \\ \sigma_{xy}^p = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где γ – средний объемный вес пород, кг/м³; β – коэффициент бокового распора, дол. ед; H – глубина рассмотрения, м.

Исследования были проведены для вариантов рудовмещающего породного массива со средними начальными (региональными) параметрами свойств:

- 1) $E_{п} = 8$ ГПа, $\nu_{п} = 0,2$, $\gamma_{п} = 3,0 \cdot 10^3$ кг/м³;
- 2) $E_{п} = 8$ ГПа, $\nu_{п} = 0,4$, $\gamma_{п} = 3,0 \cdot 10^3$ кг/м³.

Здесь $E_{п}$, $\nu_{п}$, $\gamma_{п}$ - соответственно модуль деформации, коэффициент Пуассона и плотность горных пород массива.

Коэффициент бокового распора регионального поля напряжений для рассматриваемых вариантов определялся из выражения $\beta = \frac{\nu}{1-\nu}$, ($\beta_1=0,25$ и $\beta_2=0,7$).

Влияние деформационных свойств структурных элементов M_i на распределение напряжений в области ABCD рассматривалось отдельно для каждого варианта σ_{ij}^p . Анализ получаемой в результате расчетов цифровой информации проводился для каждого конечного элемента посредством относительных напряжений

$$K_{\sigma_{ij}^0} = \frac{\sigma_{ij}^0}{\sigma_{yy}^p} = \frac{\sigma_{ij}^0}{\gamma H} \quad (i, j = x, y) \quad (4)$$

где $K_{\sigma_{ij}^0}$ – коэффициентом структурной неоднородности начальных напряжений.

Теоретическое обобщение полученных вариантных результатов расчетов

применительно к породному массиву Западного пласта железистых кварцитов позволило построить прогнозную дифференциацию средних региональных напряжений $\sigma^0_{yy,xx}/\gamma H$ по мощности структурообразующих вертикально-падающих пластов горных пород (рис.2).

Анализ выполненных численных экспериментов показал:

– геологическое строение породного массива оказывает существенное количественное и качественное влияние на характер распределения компонент гравитационных напряжений в области выделяемых структурных элементов;

– параметры локальных полей напряжений зависят от деформационных свойств элемента неоднородности, а также параметров регионального поля напряжений. При этом область влияния каждого пласта распространяется на расстояние до 3-4 его характерных размеров (мощности);

– установлено, что в крутопадающих сопряженных слоях горных пород величина вертикальных напряжений σ^0_{yy} зависит от соотношения их модулей деформации и коэффициентов Пуассона. Если эти соотношения больше единицы, то напряжения σ^0_{yy} могут быть больше в 2,0-2,5 раза γH , если меньше, то меньше в 1,5-2,0 раза. С увеличением коэффициента бокового распора регионального поля напряжений от 0,25 до 0,7 неоднородность локального поля напряжений сглаживается в 1,2-1,4 раза;

– массив железистых кварцитов Западного пласта напряжен ассиметрично: у висячего бока выделяется зона концентрации ($2,2\gamma H$) вертикальных напряжений при средней $1,8\gamma H$. У лежащего бока зона концентрации равна $1,4\gamma H$;

– компоненты горизонтальных напряжений σ^0_{xx} несущественно отличаются от региональных σ^p_{xx} .

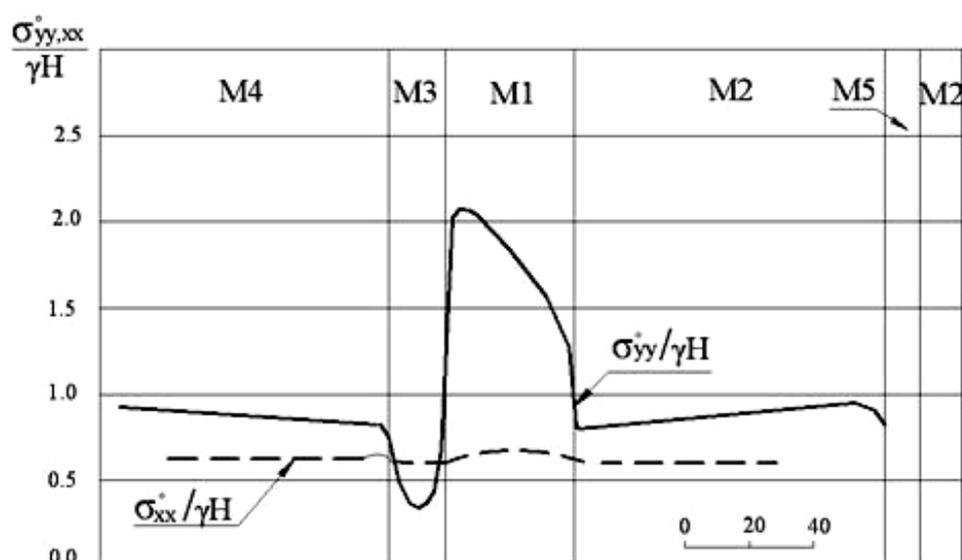


Рис. 2 – Распределение относительных начальных напряжений $\sigma^0_{yy,xx}/\gamma H$ по мощности массива: M1 – магнетитовые кварциты; M2 – куммингтонитовые сланцы; M3 – биотитовые сланцы; M4 – амфиболитовые сланцы; M5 – зона отработанных богатых руд с твердеющей закладкой

Для расчетного определения устойчивых геометрических параметров обнажений в камерах на всех шахтах Криворожского бассейна применяется методика ГП «НИГРИ» [9]. В основу методики положена интегральная характеристика $[l^o]$ – предельный эквивалентный по устойчивости пролет плоского обнажения, функционально связанный с геометрическими параметрами проектируемых обнажений.

В общем случае $[l^o]$ зависит от глубины H расположения:

$$[l^o] = \sqrt{\frac{K}{\gamma H}}, \quad (5)$$

где K – постоянная для конкретных условий эмпирическая величина, интегрально отражающая напряженно-деформированное состояние зоны очистной выемки разрабатываемого рудного массива и зависящая от формы, размеров, ориентации и условий залегания рудного тела, характера сдвижения и обрушения подработанных вмещающих пород, коэффициентов крепости руды и вмещающих пород, очередности отработки участков залежей; γ – средняя объемная масса горных пород.

В формуле (5), полученной путем статистической обработки параметров конкретных очистных камер отработанных рудных залежей, γH – средняя вертикальная компонента начального поля напряжений в рудном массиве. Зависимость справедлива для усредненного квазиоднородного по геологическому строению массива. Вместе с тем, как показано выше начальное распределение гравитационных напряжений в структурообразующих элементах массива Западного пласта контролируется его геологическим строением и количественно компоненты напряжений зависят от соотношения деформационных свойств и мощностей пластообразных структурных элементов массива.

Подставляя в формулу (5) вместо усредненного значения $\sigma_{yy}^p = \gamma H$ значение $\sigma_{yy}^o = K_\sigma \gamma H$ получим дифференцированную величину предельного эквивалентного пролета обнажения для каждого неоднородного по свойствам структурного элемента рудопородного массива:

$$[l^s] = [l^o] / \sqrt{K_\sigma} \quad (6)$$

где $[l^s]$ – предельный эквивалентный пролет обнажений в конкретном структурном элементе массива; $[l^o]$ – предельный эквивалентный пролет в квазиоднородном (усредненном) массиве; K_σ – коэффициент структурной концентрации начальных вертикальных напряжений - характеристика, учитывающая влияние макроструктурной неоднородности массива на начальное напряженное состояние рудной залежи, равная $\sigma_{yy}^o / \gamma H$.

Из рис. 2 с учетом вышеуказанного получим прогнозные величины:

- для рудной залежи $[l_r^s] = 0,8 \cdot [l_r^o]$, $[l_b^s] = 3 \cdot [l_r^s]$,
- для пород висячего бока $[l_r^s] = 1,1 \cdot [l_r^o]$, $[l_b^s] = 1,3 \cdot [l_r^s]$,

– для пород лежачего бока $[l_{\Gamma}^s] = 1,7 \cdot [l_{\Gamma}^o]$, $[l_{\text{в}}^s] = 0,7 \cdot [l_{\Gamma}^s]$, где $[l_{\Gamma}^s]$, $[l_{\text{в}}^s]$ – предельные эквивалентные пролеты горизонтальных и вертикальных обнажений в проектируемых камерах с учетом макроструктурной неоднородности массива.

На рис. 3 представлены зависимости изменения предельных значений устойчивых эквивалентных пролетов в камерах однородного и неоднородного рудного массива в зависимости от глубины разработки.

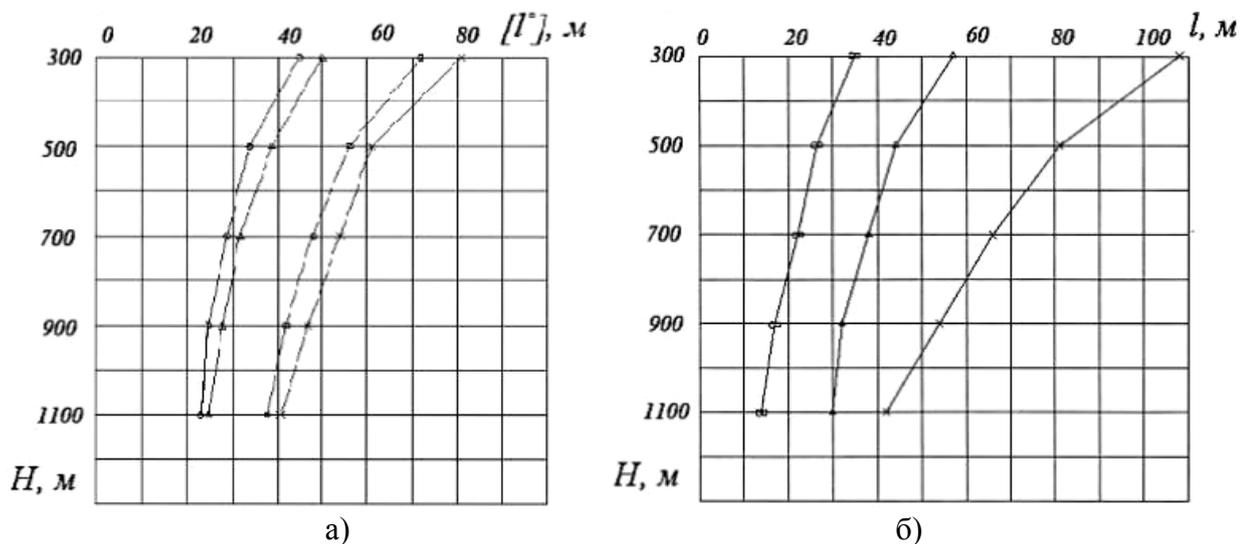


Рис. 3- Зависимость предельного эквивалентного пролета обнажений в камерах 1-й очереди в однородном массиве а) и неоднородном массиве б) от глубины разработки при длительном ($t > 12$ мес) стоянии обнажений: ● - горизонтальные обнажения рудного массива, l_{Γ}^o ; × - вертикальные обнажения рудного массива, $l_{\text{в}}^o$; Δ - вертикальные обнажения пород лежачего бока, $l_{\text{лб}}^o$; □ - вертикальные обнажения пород висячего бока, $l_{\text{вб}}^o$.

Из рис. 3 видно, что учет геологической макроструктуры породного массива уменьшает предельные значения эквивалентных пролетов обнажений в камерах в 1,2-1,4 раза по сравнению с однородным массивом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пояснительная записка к проекту развития горных работ в ООО «Восток-Руда» на 2006 год. – Желтые Воды, 2005. – 41 с.
2. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. –Л.: Недра, 1989. – 488 с.
3. Малахов Г.М. Управление горным давлением при разработке рудных месторождений Криворожского бассейна. – К.: Наукова думка, 1990. – 204 с.
4. Подземная разработка магнетитовых кварцитов в Криворожском бассейне / Малахов Г.М., Колодезнов А.С., Сиволобов Л.И., Лубенец В.А. –Киев: Наукова думка, 1983. - 148 с.
5. Егоров П.В., Поляков А.Н., Ренев В.С. Влияние структурного массива на напряженное состояние горных пород на примере Желтореченского железорудного месторождения. - Труды ВНИМИ, сб. 9. – Л.: ВНИМИ, 1975, С. 176-182.
6. Фадеев Л.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. -221 с.
7. Глушко В.Т., Борисенко В.Г. Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений. – М.: Недра, 1978. - 253 с.
8. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов. – М.: Недра, 1988. – 271 с.
9. Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки на рудниках Кривбасса. – Кривой Рог: НИГРИ, 1987. -76 с.