

УДК (004.94:622.83):622.268.1

Андреев Б.Н., д-р., техн. наук, проф., Сергеев С.С., ассистент кафедры
*Государственное ВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой
Рог, Украина*

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ПРОХОДКИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ ШАХТ КРИВБАССА

Среди основных направлений расширения минерально-сырьевой базы Криворожского железорудного бассейна большое значение имеет разработка богатых руд на глубоких горизонтах.

Увеличение глубины ведения горных работ сопровождается ухудшением геологических и горнотехнических условий [1]. Это обуславливает необходимость решения задач по получению достоверных сведений о геомеханическом состоянии породного массива, позволяющих заблаговременно составить представление о характере и интенсивности возможных деформаций горных выработок, а также разработать и внедрить наиболее эффективные для больших глубин технологические решения при строительстве капитальных и подготовительных выработок [2].

В ходе исследований рассматривался и анализировался ряд программ на основе методов конечных элементов (МКЭ), включающих в себя статический структурный анализ (Static Structural), позволяющий рассчитать перемещения, деформации, напряжения, внутренние усилия, возникающие в теле под действием статической нагрузки [3]. Всё это необходимо для определения параметров «зоны разгрузки» и построения модели по всем критериям и нормам. Было решено использовать программный комплекс 3D моделирования Ansys.

Однако исследования, проводимые с помощью компьютерного моделирования, могут иметь погрешность и в связи с этим было произведено сравнение полученных результатов с лабораторными экспериментами. За основу были взяты исследования проф. Ключкова В. Ф. занимавшегося вопросами изучения напряженно-деформированного состояния приконтурной области массива для условий Кривбасса, выполненные методом фотоупругости с «замораживанием» полей напряжений моделей, в поле центробежных сил [4]. Для проверки адекватности модели был повторно произведен ряд экспериментов, только построенных при помощи компьютерного моделирования.

При сравнении значений, полученных обоими методами, наблюдается незначительная разбежность результатов погрешность, которая составляет 7 - 11 % (табл.). Закономерность увеличения погрешности четко прослеживается при увеличении моделируемой глубины для 1000-1500м и составляет порядка

12-15%. Подводя итог выше сказанного можно утверждать, что модель является адекватной и допустимая погрешность тому подтверждение.

Таблица

Расстояние до области повышенных напряжений в моделях

Модель		Соотношение между сторонами модели	Полученное методом фотоупругости,	Полученное методом при компьютерном моделировании,	Погрешность,
Т1	М1				
	М2				
Т2	М3				
	М4				
Средневзвешенная погрешность					

Расхождение между результатами, полученными методом фотоупругости и компьютерным моделированием рассчитывалась по формуле относительной погрешности [5]:

$$\Delta = \frac{l_k - l_\phi}{l_k} \cdot 100\%$$

Принимая во внимание практически полное отсутствие в Криворожском бассейне тектонических напряжений, для участков приконтурных массивов горизонтальных выработок, главного двухпутевого квершлага с сечением $S_{св} = 18,5 \text{ м}^2$ и двух однопутевых квершлагов с сечением $S_{св} = 12,65 \text{ м}^2$, горизонта 1340 м, ш. «Октябрьская», ПАО «КЖРК», было проведено компьютерное моделирование характера перераспределения напряжений естественного поля, обусловленных силами гравитации.

В ходе исследований определено, что при проведении выработок вследствие выемки породы в призабойной области массива происходит перераспределение статических напряжений с образованием зон деформаций растяжения и сжатия.

Непосредственно к плоскости забоя выработки примыкает зона деформаций растяжения, за которой следует зона деформаций сжатия, которые также можно разделить на две подзоны:

а) максимальные деформации сжатия, находящиеся на расстоянии равном 0,9-0,95 условного радиуса выработки;

б) конечные деформации сжатия, соответствующее крайней точке рассматриваемой зоны находящаяся на расстоянии от плоскости забоя выработки, зависящие от физико-механических свойств массива.

Затем зона сжимающих деформаций плавно теряет интенсивность по мере удаления от выработки и стремится к уровню естественного напряженного состояния массива.

Также на основании полученных данных определено, что средневзвешенный экстремум деформаций сжатия наблюдается на расстоянии 2,1 м от плоскости забоя, а полученный расчетный экстремум деформаций сжатия по методике Миндели, Вайштейна, Демчука [6], (форм. 1), равен 2,3 м. Погрешность, составляет порядка 7 %, незначительная разбежность объясняется тем, что формула не учитывает многих геомеханических факторов и основана на учете площади сечения и предела прочности на одноосное сжатие.

Расчетный экстремум деформаций сжатия по методике Э.О. Миндели, Л.А. Вайнштейна, П.А. Демчука определяется из выражения [6]: $0,9 \dots 0,95R_y$

где, $R_y - R_{np}$ – приведенный или условный радиус выработки

$$R_y = R_{np} = \sqrt{\frac{S_{сч}}{\pi}} \quad (1)$$

где, $S_{сч}$ – площадь сечения выработки вчерне.

В условиях пересечения слабых пород, а именно тальковых сланцев и исходя из плана горизонта, моделировалась ситуация с двумя параллельными однопутевыми квершлагами с площадью поперечного сечения $S_{св} = 12,65 \text{ м}^2$ проходимыми по продаж крепостью $f = 3-4$ и $10-12$.

Полученный результаты позволяют сделать вывод о том, что в зависимости от расстояния между параллельными выработками поля напряжений перераспределяются, оказывая основное влияние на протяженность зон деформаций сжатия и разгрузки в призабойной области массива.

Минимальные влияния на зону разгрузки начинаются при размере целика $6R_y$ или 12 м – в породах с крепостью $f = 10-12$ по шкале проф. М.М. Протоdjяконова. Также определено, что на расстоянии от $1R_y$ до $5R_y$ происходит взаимовлияние параллельных забоев на размер зоны разгрузки и сжатия. Экстремум деформаций сжатия размещен между выработками. Это связано с тем, что образующиеся напряжения в приконтурном массиве забоев суммируются, влияя при этом на протяженность зон сжатия и разгрузки. Однако размер зоны деформации растяжения практически не изменяется при изменении размеров целика, это связано с тем, что в основном на эту область влияют лишь геометрические параметры выработки и глубина заложения. При размере целика от $6R_y$ до $9R_y$ экстремум деформаций сжатия перераспределяется, разделяется и постепенно перемещается в сторону каждого из забоев.

Также исходя из полученных и проанализированных результатов определено, что взаимное влияние выработок на контур друг друга начинается сказываться, когда расстояние между ними меньше $7R_y$ или 14 м при крепости породы по шкале проф. М.М. Протоdjяконова $f = 10-12$. В связи с этим минимально допустимый размер целика равен 14 м или $7R_y$, а рекомендуемый

для строительства $9R_y$ или 18 м, в этом случае практически полностью прекращается взаимовлияние выработок друг на друга.

Анализируя полученные результаты определено, что при коэффициенте крепости породы $f = 3-4$ общее влияние выработок наблюдается, все еще при расстоянии между ними равное $7R_y$ и эта тенденция продолжается до размеров целика в $9R_y$. Также, определено, что взаимное влияние забоев распространяется на размер зоны разгрузки, и на длину зоны деформаций сжатия при $7R_y-9R_y$. Экстремум деформаций сжатия смещен четко по середине между выработками как это наблюдалось при крепости породы $f = 10 - 12$. Только при размере целика в $11R_y$ прекращается влияние выработок на рассматриваемые зоны за плоскостью забоя.

Также исходя из полученных и проанализированных данных можно утверждать, что при крепости породы $f = 3-4$ минимально допустимое расстояние между параллельными выработками должно быть равным $9R_y$ или 18 м, а не как принято в проектном плане 12 м, то есть 6 приведенных радиусов выработки. Рекомендуемый размер целика $11R_y$, практически полностью прекращает взаимное влияние выработок на контур друг друга.

Расчетный размер целика принятый в плане строительства определен по методике проф. Савина Г.Н. [7], которая гласит, что область влияния одиночной выработки круговой формы сечения в условиях гидростатического поля напряжений простирается в массив на расстояние около $1,5D$ (где, D – приведенный диаметр выработки). Поэтому взаимное влияние выработок теоретически начнет сказываться, когда расстояния между их контурами будет меньше $3D$ или $6R_y$.

Данная методика предлагается к применению на практике. Однако в массивах с негидростатическим распределением напряжений или при ярко выраженной анизотропии упругих свойств пород парные сближенные выработки целесообразно располагать таким образом, чтобы линия их центров совпадала с направлением наибольшего главного напряжения или с направлением в массиве, по которому модуль упругости имеет максимальное значение (например, для слоистого массива – перпендикулярно к слоистости) [7].

В связи с выше перечисленным велика вероятность погрешности используемой методики на практике. Так как она очень обобщена и ее применения иррационально для больших глубин. Исследования, проводимые обще принятой методикой, охватывали геомеханические вопросы касаемые заложения выработок до 1 км [7].

При сравнении результатов, полученных с помощью компьютерного моделирования и определенных по методике проф. Савина Г.Н. установлена погрешность для минимально допустимого размера целика, которая составляет для пород с крепостью $f = 10-12$ – 14% и для $f = 3-4$ – 33%.

Полученные результаты анализа призабойной области массива горизонтальной горной выработки позволяют сделать вывод о том, что при проведении главного квершлага с площадью поперечного сечения $S_{св} = 18,5 \text{ м}^2$

зона разгрузки достигает длины порядка 4 м. Что позволяет бурить комплект шпуров на полную длину напряженно – деформированного состояния и тем самым максимально использовать потенциал современного импортного оборудования.

Увеличив размер целика между двумя однопутевыми выработками представляется возможность сокращение затрат путем выбора более рационального типа крепи и безопасного использования сооружения на протяжении всего период отработки горизонта.

Также, определено, что при проходке двух однопутевых квершлагов зона разгрузки на разных участках достигает отметки в среднем порядка 3,5 м. Однако в связи с сложной геологией и малой крепостью пород данный показатель не представляет ценности при проходке выработок с использованием шпуров с длиной свыше 2 м. Несмотря на это, данная информация позволяет определить необходимый размер целика между строящимися параллельными выработками и выбрать рациональный тип крепи для обеспечения должного закрепного пространства и долгосрочного использования подземного сооружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов / А. А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
2. Глушко В. Т. Проявление горного давления в глубоких шахтах/ Т.В. Глушко. – К.: "Науковадумка", 1971. – 196 с.
3. Лукьянова А.Н. Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS/ А.Н. Лукьянова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. – 52 с.
4. Ключков В.Ф. Физико-технические основы взрывного разрушения напряженных пород при проведении подземных выработок: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.15.11 / В.Ф. Ключков; Ленинградский горный институт. Л., 1984. – 36 с.
5. Лабінський К.М. Руйнування гірських порід вибуховими речовинами, шпурів заряди яких детонують у неідеальному режимі, при проведенні виробок: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.15.04 / К.М. Лабінський; Донецький національний технічний університет. Д., 2014. – 36 с.
6. Миндели Э. О. Взрывные работы на глубоких горизонтах шахт / Э. О. Миндели, Л. А. Вайштейн, П. А. Демчук. – Донецк: Донбасс, 1971. – 96 с.
7. Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий / Г.Н. Савин. Киев: Наукова думка, 1968. – 88 с.