Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVIII, вып. 1, 1969 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕЛИКОВ ПРИ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ НА РУДНИКЕ «МАЯК»

В. Д. Палий, Ю. Д. Орлов, В. П. Ушенин

Рудная залежь, разрабатываемая рудником «Маяк», состоит из вкрапленных и сплошных руд. Сплошные руды расположены ниже основной массы вкрапленных в сильно раздробленных и перемятых породах с резко пониженной устойчивостью. Мощность этих пород в непосредственной кровле изменяется от 0,3—0,6 до 4,7 *м*, в почве — от 0,5 до 5,5 *м*. Угол падения залежи колеблется в пределах 3—12°, местами на флангах увеличиваясь до 25—30°. Глубина разработки 200—260 *м*.

Тектоника месторождения характеризуется наличием многочисленных разломов, сбросов и интенсивно развитой трещиноватостью. Для сплошных руд характерны крутые трещины (угол падения более 65°) субмеридионального и диагонального простирания. Трещины, как правило, ровные, с гладкими стенками, часто притертые со следами скольжения. Связь по трещинам изменяется от средней до весьма слабой. Протяженность трещин колеблется от 0,2—0,3 до 2,2—3,0 *м* по простиранию и достигает 2,2 *м* по падению. Расстояние между трещинами изменяется от 3—5 *см* до 1,5 *м* (в среднем 15—20 *см*).

Во вкрапленных рудах преобладают наклонные и пологие трещины, расстояния между ними колеблются от 3 до 30 *см*, по простиранию и по падению они прослеживаются до 2—5 *м*. Связь по трещинам неодинакова: более прочная наблюдается по трещинам отрыва, заполненным кальцитом, сульфидами, цеолитами, менее прочная — по трещинам скалывания, стенки которых покрыты хлоритом, серпентином, тальком.

Прочностные свойства руд и вмещающих пород характеризуются большим непостоянством значений характеристик как по мощности, так и по площади рудной залежи. Так, предел прочности на сжатие, по данным ВНИМИ и ИГД им. А. А. Скочинского, изменяется для сплошных руд от 390 до 1260, для вкрапленных руд от 270 до 1570 и для налегающих коренных пород от 540 до 2840 *кГ/см²*. Предел прочности на сжатие сильно раздробленных и перемятых пород непосредственной кровли и почвы сплошных руд составляет 150—200 *кГ/см²*.

Проектом предусматривается опережающая выемка сплошных руд с сохранением вкрапленных для последующей отработки. Для выемки сплошных руд приняты системы разработки с открытым очистным пространством и последующим заполнением его бетоном. При мощности рудного тела до 12—14 *м* камеры отрабатываются потолко- или почвоуступным забоем, при большей мощности — системами с отбойкой руды из подэтажных выработок.

Рудное тело отрабатывается панелями шириной 60 *м*. При мощности рудного тела до 12—14 *м* панель разбивается на камеры и целики шириной по 8 *м*; ширина панельного целика 15 *м*. К настоящему времени камеры отработаны на площади 150×210 *м* и заложены бетоном. Оставленные междукамерные целики предполагается извлекать в две очереди с полной закладкой выработанного пространства. Панельные целики будут извлекаться в последнюю стадию работ.

ВНИМИ совместно с опытно-исследовательским цехом Норильского горно-металлургического комбината ведут на руднике «Маяк» обширный комплекс исследований проявления горного давления, и в частности наблюдения за напряженно-деформированным состоянием рудных целиков.

Величины и характер распределения напряжений в поперечном сечении междукамерного целика и панельного целика 1-бис горизонта —175 *м* исследовались методом разгрузки соответственно в ноябре 1966 г. и в июле 1967 г. Места определения напряжений расположены между камерами 7/2, 9/2 и 19/2, 21/2. Размеры участка с отработанными первичными камерами составляли на ноябрь 1966 г. 110×110 *м*, на июль 1967 г. — 150×210 *м*.

Напряжения методом разгрузки определялись по методике, разработанной во ВНИМИ применительно к крепким и средней крепости породам [Нестеренко, Твердовский, Артемов, 1966]. Один из тензометрических датчиков, наклеиваемых на забой скважины (диаметр 76 *мм*), ориентировался по верти-

кали (σ_y), а другой горизонтально (σ_x). Деформационные характеристики сплошной руды (модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ) определялись по испытаниям образцов, изготовленных из керна, полученного при определении напряжений.

Из 14 интервалов в целике 8/2 определить напряжения удалось только в шести точках, а в панельном целике 1-бис из 16 интервалов напряжения определены в десяти точках. В остальных случаях керн при выбуривании разрушался по трещинам.

Результаты измерения напряжений представлены на рис. 1 и 2, а в таблице приведены их средние значения. Следует заранее отметить, что полученные величины напряжений имеют вероятностный характер и ни в коей мере не могут полностью характеризовать напряженное состояние целиков.

Средние напряжения в рудных целиках от давления веса столба налегающих пород до поверхности $\sigma_{ср}$ подсчитывались по формуле

$$\sigma_{ср} = \gamma H k, \qquad (1)$$

где γ — средний объемный вес налегающей толщи пород (2,7 $т/м^3$); H — глубина горных работ (216 $м$); k — коэффициент, равный отношению площади выемочного участка к площади целиков ($k=2$).

Средние измеренные напряжения $\sigma'_{ср}$ подсчитывались, как средневзвешенные по интервалам. Отметим, что здесь и далее напряженное состояние анализируется с учетом в основном вертикальной составляющей напряжений, так как при расчетах сечений целиков и анализах несущей способности в настоящее время учитывается главным образом эта составляющая.

Сопоставляя результаты измерений, можно заметить ряд важных обстоятельств. Во-первых, две части панельного целика, разделенные панельным штреком, нагружены крайне неравномерно. Если максимальные значения измеренных напряжений в обеих частях целика одинаковы, то средние значения $\sigma'_{ср}$ отличаются более чем в пять раз: в узкой части они составляют 0,5 γH (скв. 1), а в широкой — 2,7 γH (скв. 2).

Во-вторых, средневзвешенные значения напряжений по всему сечению панельного и по сечению междукамерного целика примерно одинаковы и составляют 2,2 γH. Таким образом, измеренный коэффициент концентрации напряжений (2,2) и принятый при подсчете напряжений от полного веса столба налегающих пород (2,0) мало отличаются друг от друга. Этот

важный вывод свидетельствует о том, что даже при небольших по сравнению с глубиной размерах выработанного пространства (измерения в междукамерном целике) рудные целики нагружены полным весом столба пород до поверхности.

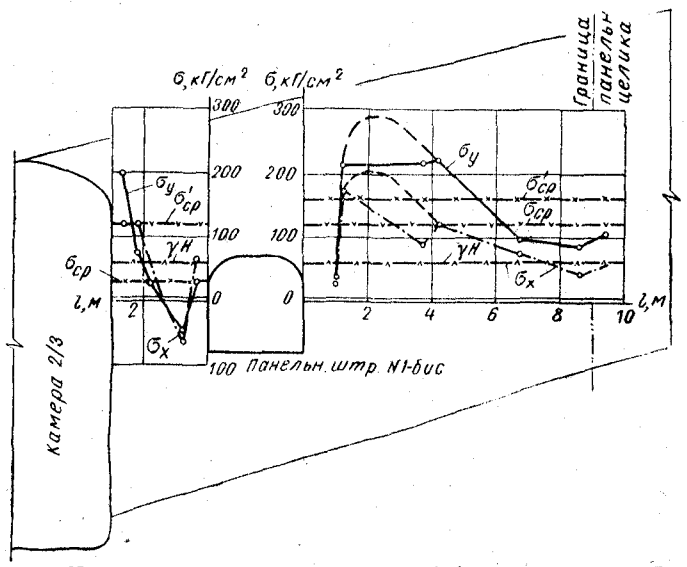


Рис. 1. Напряжения в панельном целике 1-бис горизонта —175 м

Средние значения напряжений в рудных целиках

Целик	Среднее значение вертикальной составляющей напряжения по данным измерения, кГ/см²	Вертикальные напряжения от полного веса столба пород до поверхности, кГ/см²	γH, кГ/см²	$\frac{\sigma'_{ср}}{q_{ср}}$	$\frac{\sigma'_{ср}}{\gamma H}$
Панельный:					
восточная часть (скв. 1)	30	120	60	0,25	0,50
западная часть (скв. 2)	160	120	60	1,33	2,70
Междукамерный 8/2 (скв. 3)	130	120	60	1,08	2,20

Конечно, при неравномерном характере эпюры напряжений как в панельном, так и в междукамерном целике анализ напряженного состояния по средним значениям напряжений может быть сделан лишь в первом приближении. Вместе с тем равенство средних значений напряжений, подсчитанных по результатам измерений и по формуле (1), позволяет считать, что грубой ошибки при таком анализе не будет.

В-третьих, эпюра напряжений по сечению междукамерного целика имеет ярко выраженный неравномерный и асимметричный характер.

Неравномерность нагружения обеих частей панельного целика можно было бы объяснить следующим образом. Панельным штреком целик разделен на две неравные по ширине части — трех- и девятиметровую (см. рис. 1). Узкая левая часть с одной стороны оконтурена камерой 2/3, расположенной вдоль панельного целика. Междукамерные целики создают своеобразный подпор широкой части панельного целика.

На уровне панельного штрека обе части панельного целика, прорезанные этим штреком, можно рассматривать как независимо работающие целики. Тогда неравномерность нагружения может быть объяснена различием деформационной способности узкого и широкого целиков или различием их податливости.

Податливость целиков может быть в известной мере охарактеризована так называемым коэффициентом податливости, смысл которого состоит в способности целика деформироваться при заданной нагрузке [Иванов и др., 1966]

$$C = \frac{\Delta h}{P},$$

где C — коэффициент податливости; Δh — продольная деформация целика; P — нагрузка на целик.

Умножим и разделим это выражение на h (высоту целика) и F (площадь поперечного сечения целика):

$$C = \frac{\Delta h F h}{h P F};$$

так как

$$\frac{\Delta h F}{h P} = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{1}{E},$$

тогда

$$C = \frac{h}{EF},$$

т. е. коэффициент податливости прямо пропорционален высоте и обратно пропорционален модулю упругости и площади поперечного сечения целика.

При рассмотрении с этой точки зрения податливости двух частей панельного целика на уровне панельного штрека можно принять модули упругости и высоты целиков равными между собой, а вместо площади поперечного сечения в вышеприведенное выражение подставить ширину целика b, так как длина их одинакова. Приняв для узкой части целика C_1, h_1, E_1, b_1, а для широкой C_2, h_2, E_2, b_2, отношение коэффициентов податливости выразим как

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{h_1}{E_1 b_1} \cdot \frac{E_2 b_2}{h_2}.$$

Так как

$$h_1 = h_2 \text{ и } E_1 = E_2,$$

то

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{b_2}{b_1}.$$

При $b_1 = 3$ *м* и $b_2 = 9$ *м* $C_1 = 3C_2$.

Таким образом, податливость узкой части целика в три раза больше, чем широкой. Кроме того, она увеличивается также за счет наличия продольной очистной камеры с одной стороны целика, тогда как противоположная панельному штреку сторона широкой части в этом месте подперта междукамерным целиком. Разной податливостью может быть объяснена неравномерность нагружения обеих частей панельного целика.

Конечно, приведенный анализ не учитывает всех сторон явления, да и вряд ли в настоящее время он возможен даже с привлечением всего имеющегося аппарата исследований. Выполненный анализ объясняет в первом приближении существо явления. Несоосное расположение штрека в панельном целике и, как следствие, неравномерность нагружения отдельных частей его может существенно снизить несущую способность панельного целика, особенно во время выемки междукамерных целиков, когда на панельный придется основная часть нагрузки от налегающих пород. Поэтому необходимо в дальнейшем располагать штрек в панельном целике только по оси его.

Чтобы объяснить неравномерный и асимметричный характер эпюры напряжений в междукамерном целике, было всесторонне исследовано его состояние. В частности, была просмотрена оптической трубой РВП-456 скважина, пробуренная при

определении напряжений методом разгрузки. Просмотро установлено (рис. 2), что на 1 *пог. м.* скважины приходитс в среднем три открытые трещины, от слаборазличимых (во лосных) до четко фиксируемых (шириной 2—3 *мм*). Трещин в основном крутопадающие, до вертикальных. Наиболее зна чительно развиты они в периферийной части целика.

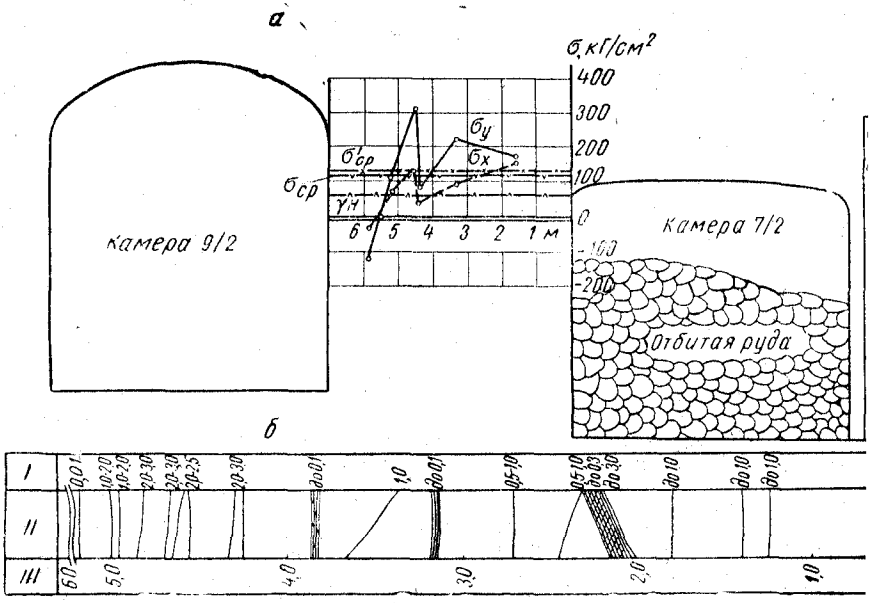


Рис. 2. *а* — напряжения в междукамерном целике 8/2, *б* — результаты пр смотра разгрузочной скважины оптической трубой РВП-456. *I* — ширина трещин, *мм*; *II* — проекция трещин на горизонтальную пло кость; *III* — глубина скважины, *м*

Сопоставление результатов просмотра скважин в други местах на руднике позволяет сделать заключение, что откры тые трещины не характерны для нетронутого массива. Он раскрылись в результате ведения горных работ: сейсмическо го действия взрывов на периферийные части целика и дефор мирования целика после оконтуривания его камерами. Наблю дения за поперечными деформациями целика показывают, чт процесс раскрытия трещин развивается и прослеживается н глубину до 3 *м*.

Таким образом, асимметричный и неравномерный характер эпюры напряжений в междукамерном целике свидетельствует о том, что породы в целике находятся в состоянии, близком к предельному. Подобное явление было отмечено при исследовании напряженно-деформированного состояния междукамерных целиков на рудниках комбината Печенганикель [Палий и др., 1966]. Сохранить несущую способность целика, находящегося в таких условиях, можно форсированием очистных работ в соседних камерах и немедленным после выдачи руды из камер заполнением выработанного пространства бетонной закладкой.

Резюмируя данные исследований напряженного состояния рудных целиков, можно сделать следующие выводы.

1. Целики в условиях рудника «Маяк» уже при площади отработки 110×110 *м* нагружены полным весом столба налегающих пород. Панельные целики не разгружают междукамерных.

2. При несоосном расположении штрека в панельном целике последний нагружен неравномерно. Эта неравномерность может быть в первом приближении охарактеризована коэффициентом податливости, который зависит от высоты и площади поперечного сечения целика и модуля упругости слагающих пород.

3. Для сохранения несущей способности междукамерных целиков необходима форсированная отработка камер и немедленная вслед за окончанием выдачи руды закладка их бетоном.

ЛИТЕРАТУРА

Иванов К. И. и др. Исследование деформируемости столбчатых угольных целиков в шахтных условиях. Технология и экономика угледобычи, № 1, 1966.

Нестеренко Г. Т., Твердовский Р. К., Артемов Р. П. Совершенствование метода разгрузки для определения напряжений в крепких трещиноватых породах. Тр. ВНИМИ, вып. 62, 1966.

Палий В. Д. и др. Исследование напряженного состояния неоднородных целиков. Тр. ВНИМИ, вып. 62, 1966.