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

ВЛИЯНИЕ БЕТОННЫХ ОПОР НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ РУДНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ КАМЕРНЫХ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ

В. П. Ушенин

В последние годы при разработке ценных руд цветных и черных металлов системы разработки с бетонной и твердеющей закладкой получают все большее распространение. Эти системы дают возможность в одних случаях вести одновременную отработку месторождений открытым и подземным способами, сохранять от сдвижения и обрушения поверхность, в других — производить опережающую выемку богатых руд, извлекать ранее оставленные целики и отрабатывать пожароопасные месторождения со сравнительно небольшими потерями и разубоживанием. Высокая себестоимость закладки на некоторых предприятиях компенсируется снижением экономического ущерба от потерь и разубоживания богатых руд. Строительство автоматизированных комплексов с самотечной доставкой закладочного материала по трубам в выработанное пространство, а также замена бетонной закладки твердеющей на основе местных вяжущих делают применение этих систем еще более эффективным и перспективным.

Очистные работы в блоке, панели при системах с закладкой обычно ведутся в две или более стадий (рис. 1), что дает возможность для поддержания налегающих пород применять закладочный материал меньшей прочности. С другой стороны, многостадийная выемка удлиняет время отработки блока и вызывает ухудшение технико-экономических показателей ра-

боты предприятия. Поэтому уменьшение числа стадий при отработке блоков на некоторых рудниках является первоочередной задачей [Джансугуров, 1967]. Для выполнения этой задачи надо выбрать наиболее рациональный порядок ведения очистных работ.

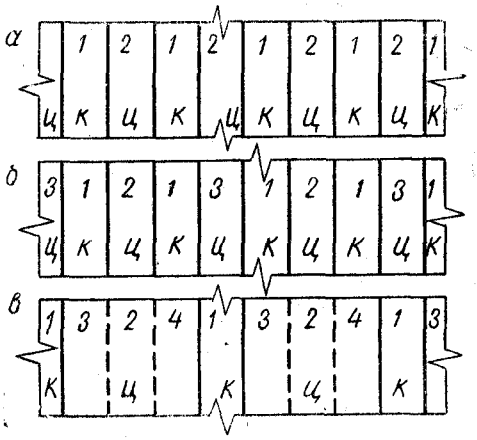


Рис. 1. Схемы ведения очистных работ в блоке при системах с твердеющей и бетонной закладкой выработанного пространства
К — камера; *Ц* — целик; *1—4* — стадии отработки запасов

Одной из главных причин, определяющих порядок выемки, безопасность работ и полноту извлечения при разработке месторождений, залегающих в неустойчивых породах, является горное давление, проявления которого можно уменьшить применением наиболее целесообразных схем ведения очистных работ в блоке. Обычно при выемке камер (первая стадия отработки блока) проявления горного давления при небольших пролетах отработки бывают незначительными. Главные трудности возникают при извлечении оставляемых целиков (в последующих стадиях).

В данной статье приведены результаты исследований характера распределения горного давления на целики, бетонные опоры и рудный массив при различных порядках отработки оставленных после выемки камер целиков (рис. 1) применительно к Талнахскому месторождению. Исследования для полей ограниченных размеров проводились на плоских моделях

из эквивалентных материалов по методике, разработанной в лаборатории горного давления Ленинградского горного института под руководством проф. А. А. Борисова.

Плоское моделирование дает представление о величинах нагрузок на междукамерные целики в середине выемочного участка. Согласно последним исследованиям [Борисов, Васильев, Толстунов, 1966] в некоторых конкретных условиях максимальные напряжения могут испытывать торцевые зоны целиков, примыкающие к панельным выработкам. Однако в наших условиях после проведения панельных выработок шириной 2 *м* максимальная величина опорного давления на прилегающий массив составляла 0,10 γH (γH — первоначальное напряжение в нетронутом массиве), в то время как разность давлений на центральные и периферийные целики в моделях 1, 2 и 3 — 0,10—0,28 γH. Кроме того, торцевые участки целиков шире центральных (соответственно 14 и 8 *м*) и, следовательно, концентрация напряжений в них меньше. Поэтому с достаточной точностью можно предположить, что в условиях рудника «Маяк» максимальное давление испытывают средние части междукамерных целиков, а это доказывает возможность применения плоского моделирования.

Таблица 1

Основные характеристики моделируемого массива и механические свойства закладки

Состав пород	Средняя мощность, *м*	Объемный вес, *г/см³*	Предел прочности на одноосное сжатие, *кГ/см²*	Модуль упругости, 10^5 *кГ/см²*	Коэффициент Пуассона	Угол внутреннего трения, *град*
Отрабатываемые богатые руды	10	4,2	460—2230* / 900	6—12,3	0,24	33,5—36
Налегающие вкрапленные руды	40	3	270—2020 / 750	6—12,3	0,24	30—33
Безрудные интрузивные и эффузивные породы	50	2,7	760—2600 / 1350	5,2—7,9	0,19	31,5—35
Бетонная закладка	—	1,8	50	0,65	0,27	—

* В числителе даны пределы отклонений, в знаменателе — средняя величина; коэффициент структурного ослабления принят равным 0,3.

При моделировании были приняты параметры систем разработки, рекомендованные ВНИМИ и ИГД им. А. А. Скочинского для условий рудника «Маяк» и испытываемые в настоящее время в производственных условиях. Влияние крупных тектонических нарушений не учитывалось. Это допущение существенно искажает истинный характер распределения напряжений в целиках, расположенных в зонах тектонических нарушений, и усредняет их величины [Борисов, Васильев, Толстунов, 1966], однако при моделировании порядка отработки всего месторождения или большей его части оно может быть принято, поскольку значительно упрощает и сокращает объем необходимых исследований. Влияние крупных тектонических нарушений в каждом конкретном случае может быть учтено необходимой величиной коэффициента запаса прочности.

Таблица 2

Характеристики моделей

Показатели	Номер модели		
	1	2	3
Ширина камер, *м*	8	8	8
Ширина междукамерных целиков, *м*	8	8	24
Высота камер и целиков, *м*	10	10	10
Глубина разработки, *м*	240	240	240
Ширина отрабатываемого участка, *м*	248	248	264
Порядок отработки целиков	В одну стадию		В три стадии

Модели изготавливались из песчано-парафиновой смеси. Закладочный материал имитировался той же смесью с соответствующими условиям подобия [Кузнецов и др., 1959] механическими характеристиками (табл. 1). Заполнение выработанного пространства после выемки камер и междукамерных целиков производилось с соблюдением принятого условия полного касания закладкой пород кровли без их распора. Динамометрическое основание моделей состояло из датчиков механического типа [Борисов и др., 1967]. Масштаб моделирования 1 : 140.

Во всех опытах камеры и междукамерные целики отрабатывались от одного фланга рудного поля к другому. Закладка выработанного пространства производилась только после выемки всех камер в пределах выемочного участка или междукамерных целиков, извлекаемых в одну стадию.

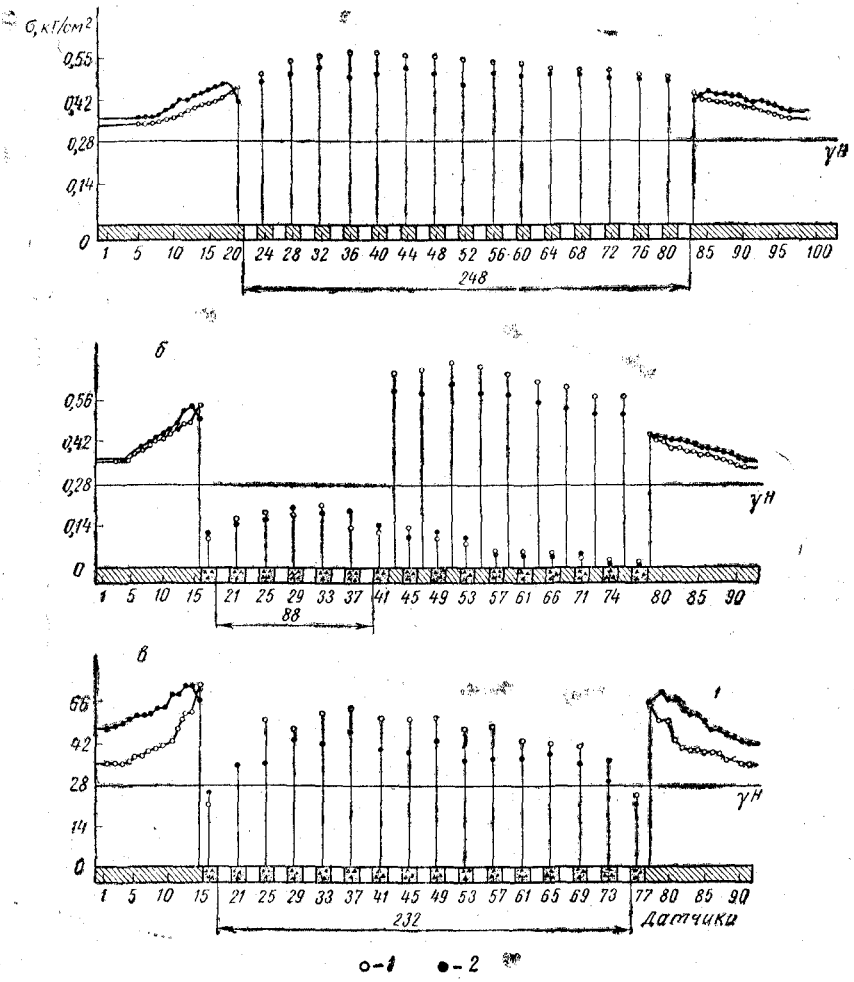


Рис. 2. Распределение опорного давления при отработке модели в две стадии. *а* — после выемки камер; *б* — при выемке целиков; *в* — после выемки целиков:

1 — модель 1; 2 — модель 2

Вопросы работы междукамерных целиков при незаложенных камерах освещены в многочисленных трудах ряда авторов и здесь не рассматриваются. Отметим только, что максимальное давление на целики в опытах 1 и 2 равнялось полному весу столба налегающих пород ($2\gamma H$) при отношении ширины выработанного пространства L к глубине разработки H, равном 0,8—1,0 (рис. 2, *а*).

На рис. 2, *б* и *в* показан характер распределения опорного давления при выемке целиков в моделях 1 и 2 (по схеме *а*, рис. 1). В начальный период отработки основная доля опорного давления переносится на междукамерные целики, находящиеся между заложенными камерами, и прилегающий массив; на бетонные опоры передается лишь незначительная его часть. С увеличением ширины выработанного пространства максимальное давление на целики растет и при $L/H=0{,}6$ достигает 2,4 γH, а затем падает. Давление на прилегающий к выработанному пространству массив, интенсивно возрастая в начальный период извлечения целиков, при $L/H=0{,}5$ стабилизируется и в дальнейшем почти не изменяется, составляя 2,2 γH при $L/H=1$. При $L/H>0{,}5$ резко возрастает нагрузка на бетонные опоры, максимальная величина которой при $L/H=1$ равняется 2 γH. После извлечения целиков давление на опоры распределяется почти равномерно. Менее нагруженными (примерно вдвое) остаются опоры, прилегающие к рудному массиву.

При уменьшении прочности материала вдвое (модель 2) давление на междукамерные целики и бетонные опоры уменьшается на 10—15%, зато больше нагружается прилегающий массив; максимум давления на него увеличивается на 20—25%. Распределение опорного давления по фронту очистных работ с уменьшением прочности пород более равномерно.

Распределение опорного давления при выемке междукамерных целиков в три стадии (схема *в*, рис. 1) приведено на рис. 3. Здесь хорошо заметно, что после выемки камер и разрезки широких целиков (стадия *б*) резко повышается давление на оставшиеся целики и прилегающий массив. Бетонные опоры в этот период нагружены незначительно. В третью стадию работ (рис. 3, *в*) давление на рудные и искусственные целики и прилегающий массив продолжает увеличиваться. При этом интенсивность нагружения опор значительно меньше. И в последнюю стадию, когда целики начинают полностью заменяться бетонными опорами, нагрузка на неизвлеченные рудные целики, сохраняющие свою несущую способность, и прилегающий

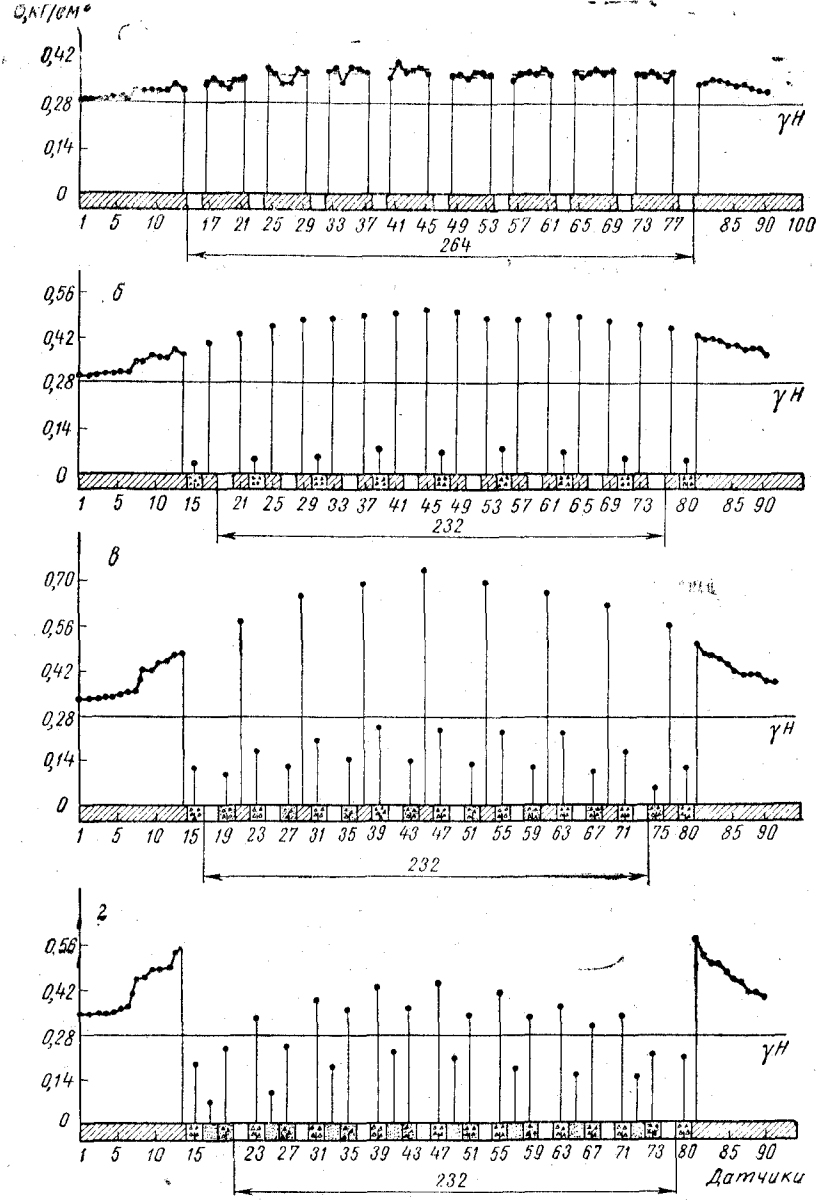


Рис. 3. Распределение опорного давления при отработке модели в четыре стадии:

а — после выемки камер; *б*, *в* и *г* — после выемки целиков соответственно первой, второй и третьей очереди

массив еще более возрастает (рис. 3, *г*), а перераспределение горного давления имеет примерно тот же характер, что и в опыте 1.

После извлечения камер и средней части междукамерных целиков на модели 3 максимальное давление на оставшиеся целики составило 1,85 γH, т. е. несколько ниже (на 12%), чем на модели 1 (при равном количестве одинаковых по размерам целиков), так как часть нагрузки воспринималась закладкой камер (максимальное давление на опоры в этот период было 0,3 γH). При выемке целиков второй очереди* максимальное опорное давление достигало 2,6 γH, в последнюю стадию работ оно возрастало до 2,85 γH при ($L/H=0{,}45$), а затем снижалось.

Закономерность распределения давления на бетонные опоры в модели 3 примерно одинакова во всех стадиях работ. Наблюдалось лишь увеличение нагрузки на опоры с возрастанием ширины пролета (при $L/H=1$ максимальное напряжение в опорах первой очереди составляло 1,52, второй — 1,30 и третьей — 0,83 γH). При отработке модели в четыре стадии максимальное давление на целики выше на 10—15%, на опоры ниже на 30% и на прилегающий рудный массив ниже на 13% по сравнению с опытом 1.

Исходя из анализа результатов опытов 1 и 3, можно сделать вывод, что при обработке блока в три стадии (схема *б*, рис. 1) максимальное давление на междукамерные целики, по-видимому, будет примерно таким же, как и в опыте 1, а на опоры немного ниже, чем в опыте 3 (поскольку они возводятся и нагружаются в две стадии и, следовательно, более равномерно, а общая площадь опор в обоих случаях одинаковая).

В результате исследования совместной работы рудных целиков и бетонных опор, расположенных рядом (рис. 3, *б*, *в*, *г*), выяснено, что из-за различия деформированных свойств или порядка возведения отдельные части комплексных целиков-опор нагружены по-разному и в процессе отработки месторождения происходит перераспределение давления между ними. Сначала меньшие нагрузки несут опоры, как более слабые и податливые части, а после деформации целиков часть давления передается на опоры и целики в какой-то степени разгружаются.

---

* Наименование целиков принято в соответствии с очередностью их извлечения, бетонных опор — в соответствии с очередностью их возведения.

Если нагрузки очень велики и рудные целики разрушаются, то давление передается сразу на бетонные опоры, которые также могут оказаться раздавленными. Бетонные опоры, состоящие из отдельных частей, возведенных в разное время, нагружены также неравномерно, и процесс их разрушения будет подобен вышеописанному. Расчет комплексных конструкций очень сложен, и в строительном деле их надежность определяется обычно эмпирическим путем [Поляков, 1950]. Для определения несущей способности комплексных конструкций применительно к условиям разработки месторождений с твердеющей и бетонной закладкой выработанного пространства были проведены исследования на образцах из песчано-парафиновой смеси. Размер образцов в плане был принят 20×20 *см*. Отношение высоты образцов к ширине изменялось от 1 : 3 до 5 : 1, прочности материала элементов комплексной конструкции — от 1 : 1 до 1 : 5. Рассматривался случай, когда закладка плотно подбучивается под кровлю. На основании предварительного анализа полученных результатов можно сделать вывод, что несущая способность комплексной конструкции может быть представлена выражением

$$N_к = k(N_ц + mN_{оп}),$$

где $N_ц$ — несущая способность рудных целиков; $N_{оп}$ — несущая способность бетонных опор; k — коэффициент формы, учитывающий увеличение несущей способности комплексной конструкции по сравнению с несущей способностью отдельных его элементов; m — коэффициент использования несущей способности искусственных целиков, зависящий от соотношения их размеров, деформируемости руды и закладки.

Выводы

1. При отработке месторождений с твердеющей и бетонной закладкой выработанного пространства значительное давление испытывают бетонные опоры, нагружение которых возрастает по мере выемки рудных целиков и замены их искусственными. Величина давления зависит от порядка ведения очистных работ в блоке.

2. Рудные целики между заложенными смежными камерами работают совместно с бетонными опорами, что значительно повышает их несущую способность.

3. В конструкциях целик — опора — целик и опора — целик — опора степень нагружения отдельных элементов зависит от их жесткости и меняется по мере извлечения целиков.

4. При последовательной (в одну стадию) отработке междукамерных целиков среди заполненных бетоном камер значительная часть давления вышележащих пород непосредственно передается на одиночные бетонные опоры, которые могут быть раздавлены при сравнительно небольших пролетах отработки. Если междукамерные целики вынимаются через один, перераспределение давления на закладку происходит постепенно, а опоры в этом случае получаются более широкими (из трех) и их несущая способность повышается.

5. При большой мощности рудного тела для повышения устойчивости нужно оставлять широкие междукамерные целики (размер их должен быть не менее трех величин устойчивого пролета камер), которые впоследствии придется вынимать в три стадии.

Полученные результаты являются предварительными и в дальнейшем будут уточняться в процессе исследований в лабораторных и натурных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

Борисов А. А., Васильев В. В., Толстунов И. П. Исследования и расчеты междукамерных целиков. Технология и экономика угледобычи, № 6, 1966.

Борисов А. А. и др. Универсальный динамометр для измерения горного давления в объемных и плоских моделях. Технология добычи угля подземным способом, № 2, 1967.

Джансугуров С. И. Камерная система разработки с полной закладкой выработанного пространства на Текелийском руднике. В сб. «Применение систем разработки с твердеющей и бетонной закладкой выраб. пространства». ЦИТИ Цветмет, 1967.

Кузнецов Г. Н. и др. Изучение проявлений горного давления на моделях. Углетехиздат, 1959.

Поляков С. В. Исследование прочности и деформационных свойств комплексных сечений. В сб. «Исследования по каменным конструкциям». Стройиздат, 1950.