Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIV, вып. 1, 1961 г.

О ВЛИЯНИИ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ОПОРНЫХ СТЕНОК

Ю. И. Паненков

В практике разработки рудных месторождений в связи с ведением очистных работ под сооружениями, водоемами или под действующими карьерами возникает необходимость в течение продолжительного времени поддерживать породы, окружающие отрабатываемое рудное тело, в статическом равновесии. Это можно осуществлять оставлением рудных целиков достаточных размеров или производить выемку всей руды, но для поддержания вмещающих пород в устойчивом состоянии возводить искусственные опоры. В первом случае руда добывается из камер высокоэффективными системами, целики же руды остаются или же, после того как в них отпала необходимость, извлекаются, но обычно малопроизводительными системами, в трудных условиях и с большими потерями. Во втором случае, когда применяются искусственные опоры, их возведение связано с дополнительными работами и затратами.

Очевидно в обоих случаях (в связи со снижением потерь руды в целиках или затрат на искусственные опоры) одним из важнейших вопросов является правильное определение размеров целиков или искусственных опор и камер между ними. Ширина опорных стенок из руды или искусственного материала должна обеспечивать прочное поддержание вмещающих пород в течение длительного срока.

В отечественной литературе и в практике проектирования известен ряд работ по методике расчета прочных размеров целиков (Л. Д. Шевякова, В. Д. Слесарева, П. М. Цимбаревича, К. В. Руппенейта, М. А. Липсона, А. А. Иливицкого, С. А. Борисенко и др.), основанных на разных представлениях о величине нагрузок или на различных предпосылках об условиях работы целиков.

Не останавливаясь на разборе этих методов расчета, отметим, что устойчивость рудных целиков или искусственных, заменяющих их опор зависит не только от действующей нагрузки, но также от линейных размеров и условий, в которых они находятся.

В качестве примера рассмотрим схему, соответствующую условиям опытного участка (рис. 1) Алтын-Топканского рудника.[1] Рудное тело мощностью 30 *м*, падающее под углом 80°, разрабатывается при высоте

[1] Опытные работы ведутся рудником совместно с Ленинградским горным институтом [1].

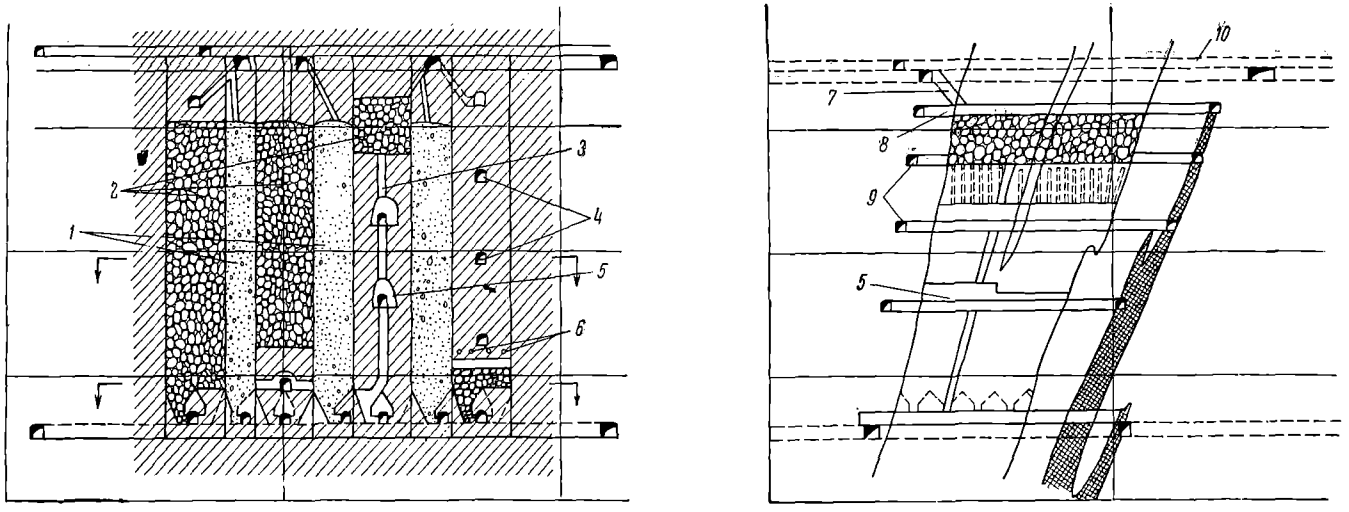


Рис. 1. Продольный и поперечный вертикальные разрезы по опытному блоку Алтын-Топканского рудника:
1 — бетон; *2* — отбитая руда; *3* — рудоспускной восстающий; *4* — подэтажные орты для цементации; *5* — компенсация; *6* — горизонтальные скважины; *7* — породоспускной восстающий; *8* — монтажная камера; *9* — ходки из восстающего; *10* — горизонт разведочной штольни

этажа 70 *м*. Блок состоит из трех первичных камер шириной две по 8 *м* и одна 6 *м*, заполняемых после выемки бутобетоном, и четырех вторичных камер шириной 10 и 12 *м*, вынимаемых между полученными искусственными опорами.

Так как опытный участок расположен под действующим карьером, необходимо сохранение устойчивого состояния окружающего массива, т. е. рудные целики или бетонные опоры должны иметь достаточный запас прочности. В таких условиях в первом приближении массив пород можно считать сплошным телом, обладающим упругими свойствами. Если взять некоторый элементарный объем этого тела на глубине H, то до начала разработки он будет находиться в условиях трехосного сжатия силами, возникающими в результате вертикального давления, равного γH (γ — средний объемный вес породы). При выемке первичных камер первоначальное равновесие в какой-то области массива нарушается. В результате выемки первичных камер остающиеся между ними междукамерные целики попадают в условия двухосного сжатия и получают какую-то пригрузку со стороны вмещающих пород. После образования бутобетонной опоры на месте отработанной камеры, по мере выемки руды между этими опорами, площадь подработки висячего бока и потолочины увеличивается. При этом распор, получающийся при укладке и твердении бетона, будет, конечно, очень мал по сравнению с тем распором, который определяет взаимодействие рудных целиков с боковыми породами. Следовательно, после выемки этих целиков, или, что то же, — вторичных камер, бетонные опоры будут воспринимать неполностью нагрузку, ранее приходившуюся на рудные целики. Скорее всего часть этой нагрузки передается на массив руды, прилегающий к отрабатываемому блоку, создавая здесь опорное давление. Однако со временем медленно нарастающие деформации в окружающем массиве могут привести к тому, что опоры начнут воспринимать более значительную нагрузку в связи с одновременным перераспределением напряжений в окружающих породах.

Бетонные опоры могут либо прочно противостоять нагрузке, либо в них появятся необратимые деформации. Если эти деформации будут достаточно велики, не исключены разрушение опор и потеря их устойчивости. Это может произойти также в результате эксцентриситета нагрузки или одностороннего давления на боковую стенку опоры магазинированной руды или закладки, находящейся в одной из смежных камер. Во избежание таких явлений, а главное их последствий в отношении сдвижения пород висячего бока, в рассматриваемом нами случае с целью создания бокового подпора, способствующего повышению устойчивости бутобетонных стенок, предусматривается заполнение камер закладкой вслед за выпуском руды, который производится под закладкой.

При развитии разработки на большом фронте по простиранию нагрузки на опоры будут расти, и для прочного сопротивления пришлось бы значительно увеличивать их размеры. Поэтому, чтобы избежать большого увеличения расхода бетона, предполагается вести разработку рудного тела участками по простиранию, оставляя между последними достаточно большие рудные целики-блоки, которые и будут воспринимать основное опорное давление (рис. 2).

Однако при достаточно плотном заполнении камер закладкой, даже в случае нарушения прочности, нет оснований опасаться больших сдвижений вмещающих пород, так как в совокупности с закладочным материалом нарушенные бутобетонные опоры сохранят свое положение в пространстве и еще будут служить средством поддержания вмещающих пород, ограничивая распространение зоны деформаций сдвижения.

Изучение напряженного состояния целиков на моделях, а также форм разрушения образцов различных пород и бетона, проводившееся многими исследователями, показало различное распределение напряжений в различных сечениях сжимаемого образца. Это, в частности, объясняется наличием трения по его опорным поверхностям. Аналогия в формах разрушения образцов и рудных целиков в натуре позволяет сделать некоторые выводы относительно условий устойчивости целиков или искусственных опор.

Прочность испытываемых образцов хрупких материалов, к которым можно отнести большинство горных пород и бетон, при одном и том же

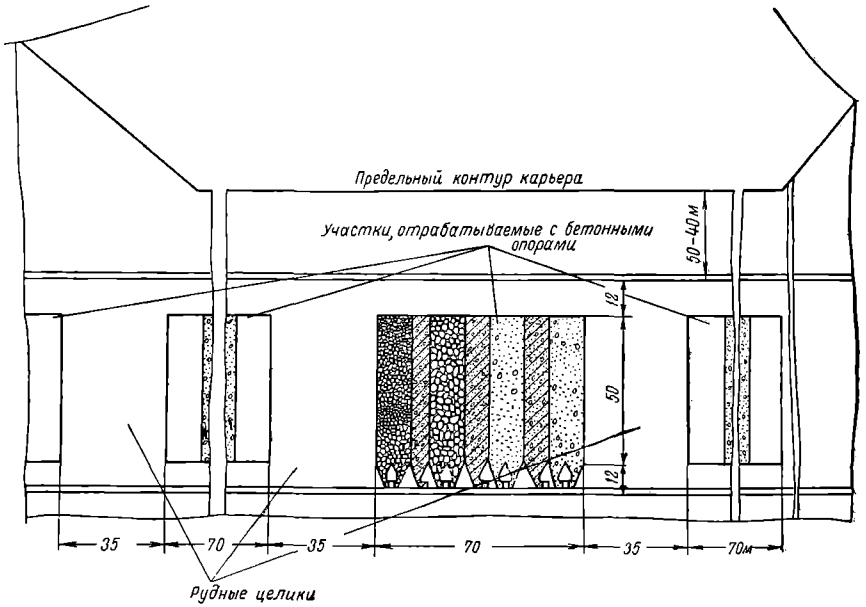


Рис. 2. Схема разбивки рудного тела на участки

качестве зависит от формы образца (куб, призма), отношения высоты образца к ширине, формы поперечного сечения образца, трения в опорах. Особенно большое значение для нас имеют соотношения линейных размеров образцов. Для иллюстрации этого были испытаны призматической формы образцы цементно-песчаного раствора одного состава (1 3) с соотношениями высоты к ширине:

	1	2	4	6,2
Прочность на сжатие, *кг/см²*	330	326	292	260

Испытания производились в 60-тонном прессе при свободном опирании образцов. Выяснилось, что прочность призм падает с увеличением вертикального размера. Характер разрушения образцов изменялся при увеличении отношения высоты к ширине от 4 до 6,2. Образцы при соотношении этих размеров до 4 разрушались с образованием треугольных призм по бокам, а при соотношении высоты к ширине больше 6,2 верхняя часть образца ломалась с образованием в начальный момент косой трещины.

В призматических образцах с соотношением высоты к ширине 6,2 в массивной обойме, обеспечивающей четырехстороннее обжатие образца во время испытания, прочность возрастает (см. таблицу).

Таблица

Вид испытания	Размер образца, *мм*			Предел прочности на сжатие, *кг/см²*	Средний арифметический предел прочности, *кг/см²*
	Ширина	Длина	Высота		
Без обоймы	45	150	280	244	247,6
	44	150	279	240	
	43	150	281	259	
С обоймой	45	150	280	273	308
	45	149	280	311	
	45	150	280	323	
	45	149	278	326	

Для всех семи опытов образцы, рассмотренные в таблице, взяты из одного замеса. При испытании с обжатием разрушение по граням происходило с образованием треугольных призм по бокам и клина, раздвигающего их сверху. Два образца раскололись вдоль. Таким образом, роль опирания и тем более обжатия образца по граням заключается не только в том, что увеличивается предел прочности, но также изменяется форма разрушения.

Схема нагружения опор в руднике в какой-то мере аналогична схеме испытаний. При выемке руды из вторичных камер опоры оказываются свободно опертыми по четырем граням (условно можно считать без заделки). Если предположить, что независимо от масштаба при постоянном соотношении размеров закономерности напряженного состояния сохраняются, то наличие с боков закладки снизит опасность разрушения опор от продольного изгиба.

Рассмотрим более подробно влияние закладки камер на прочность и устойчивость находящихся между ними опор. При наличии опор, имеющих достаточно большую прочность, закладочный материал не будет воспринимать нагрузку от вмещающих пород и его роль заключается в основном в повышении устойчивости этих опор. Как известно из практики, эффективность закладки как средства поддержания зависит от свойств материала и способа возведения закладочного массива. Исходя из этого, лучшей является плотная гидравлическая закладка.

В статике сооружений различают активное давление, т. е. силу воздействия на удерживающую поверхность при незначительном ее смещении по направлению давления насыпного материала, и пассивное давление (отпор), соответствующее смещению в сторону насыпного материала. Если говорить об активном давлении, то оно в большей мере зависит от степени связности закладочного материала, от высоты его насыпки и объемного веса. По Р. Л. Зенкову [2], давление на стенку

$$p = \gamma h n,$$

где γ — объемный вес насыпного материала;

$$n = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho}$$

h — высота насыпки;
ρ — угол внутреннего трения (приведенный);
n — коэффициент бокового распора;

При возрастании высоты камер от 50 до 60 *м* и приведенного угла внутреннего трения от 30 до 75° коэффициент n изменяется от 0,1 до 0,4. Тогда во втором случае

$$p = 1{,}6 \quad 60 \quad 0{,}4 \approx 40 \ т/м^2, \text{ или } 4 \ кг/см^2.$$

Такая величина, конечно, может оказать заметное влияние только на опору очень небольшой прочности, т. е. чем больше будет прочность опоры, тем меньшее значение имеет давление на нее закладки. Так, по данным Г Шпакелера [3], при закладке камер на калийных рудниках Германии хвостами обогатительных фабрик наблюдалась вертикальная усадка (порядка 10%) закладочного материала и около стенок камеры оставалось свободное пространство от 20 до 30 *см*. Подобный закладочный массив может включиться в работу и, следовательно, начать играть предохранительную роль только после достаточно большой деформации целиков, кровли или того и другого вместе. В то же время, если взять для закладки плотный прочный материал и дать ему первоначальный распор, соизмеримый с прочностью материала опор, то их устойчивость повысится.

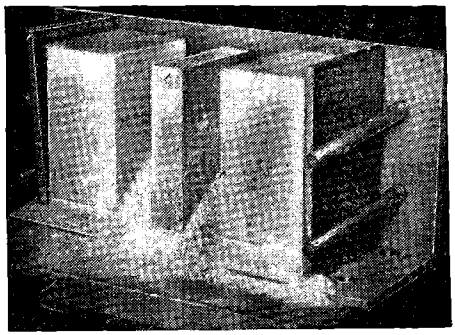


Рис. 3. Модель со снятой передней стенкой обоймы после испытания

В нашем случае — при соотношении давления закладки на квадратный метр к прочности на сжатие, равном приблизительно $\frac{4}{450}$, и пределе прочности бутобетона на разрыв порядка 1,8—2,5 *кг/см*^{2} — активное давление закладочного материала в камерах будет влиять на напряженное состояние бетонной опоры. В этом отношении показателен опыт по раздавливанию призм — стенок ($4{,}5 \times 15 \times 22{,}5$ *см*). Было изготовлено 18 призм из одного замеса. Из них шесть призм испытывались на сжатие без обойм, шесть — в обойме и остальные — в специальной обойме с заполнением пространства между боковыми гранями и обоймой песчано-парафиновым материалом до середины высоты призмы при значительном уплотнении материала (рис. 3). Первые шесть призм показали среднюю прочность 205 *кг/см*^{2} при наибольшей 212 *кг/см*^{2} и наименьшей 198 *кг/см*^{2}. Вторые шесть призм соответственно дали 256, 258 и 244 *кг/см*^{2}, последние шесть — 353, 392 и 323 *кг/см*^{2}. Конечно, эти опыты носят качественный иллюстративный характер, так как трамбовка закладки или натяжение гаек обоймы количественно не измерялись, чем и объясняется некоторый разброс предела прочности при испытаниях с обоймой, а также с обоймой и закладкой. Однако эти опыты наглядно подтверждают высказанные выше положения о повышении устойчивости опор.

Задача дальнейших исследований в данном направлении заключается в улучшении методики испытаний и определении коэффициента n.

Значительно бо́льшую роль закладочный материал начинает играть при раздавливании целика или бетонной опоры, ограничивая поперечные перемещения и тем самым частично восстанавливая его несущую способность. При этом работу рудного целика или искусственной жесткой опоры надо рассматривать в совокупности с работой уплотнения закладочного массива. При крепких монолитных или слоистых породах кровли

в результате развития горного давления несущая способность опоры может оказаться меньше несущей способности пород висячего бока и они начнут деформироваться первыми. При этом рудный целик или бетонная опора будут раздаваться в сторону меньшего сопротивления, сдавливая закладку, благодаря чему со стороны закладочного материала возникнут силы отпора, зависящие от свойств материала, в частности его сжимаемости, которая может иметь разные, но всегда конечные пределы. Но вслед за деформацией опор должна последовать осадка опирающихся на них пород. Последние будут также оказывать давление на закладку. Размерами подвижек деформированных опор в стороны и сжимаемостью закладки и определяются пределы возможной осадки пород, а в связи с этим область затухания деформаций внутри массива. При трещиноватых и недостаточно устойчивых породах висячего бока деформации их могут проявиться очень рано и целики руды или искусственные опоры не будут воспринимать всей нагрузки, особенно если ширина камер больше ширины опор. Тогда закладочный материал под действием давления со стороны висячего бока первый начнет уплотняться, оказывая давление на опоры. В таких условиях опора будет играть роль «ребра жесткости», ограничивающего смещение боковых пород.

Таким образом, при полной и достаточно плотной закладке отработанных камер больших деформаций вмещающих пород ожидать не следует. Они будут ограничены сжимаемостью закладочного материала. Система разработки с магазинированием руды и выпуском ее под закладкой обеспечивает достаточно полное заполнение выработанного пространства во все фазы разработки блока, что создает выгодные условия для устойчивости искусственных опор и может обеспечивать достаточную безопасность разработки руды под карьерами или под сооружениями даже при довольно большой мощности рудного тела.

ЛИТЕРАТУРА

1. Городецкий П. И., Паненков Ю. И. Изыскание системы разработки для опытного участка под действующим карьером Алтын-Топканского рудника. Рукопись. Фонды ЛГИ, 1958.

2. Зенков Р Л. Механика насыпных грунтов. Машгиз, 1952.

3. Шпакелер Г Разработка месторождений калийных солей. ОНТИ, Химтеорет, 1935.