УДК 622.274.4

Д.Ю.МИНАЕВ, Э.И.БОГУСЛАВСКИЙ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ВОСХОДЯЩЕМ ПОРЯДКЕ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Проведен анализ напряженного состояния искусственный монолитных целиков при комбинированной системе разработки месторождения, на которые воздействует горное давление пород висячего бока и активное давление сыпучей породной закладки, расположенной в камере II очереди. В результате расчетов оптимальная длина камеры I очереди равна 8 м, длина камеры II очереди 40 м, прочность твердеющей закладки 3 МПа.

In this article author done dip analysis project represents a substantiation and technical and economic comparison of two variants of systems of development – improvement of a deposit is conducted in the ascending order also by chamber system of development with division of horizon into chambers by I and II turns. Finally the stretch of the I turn consist 8 m, the stretch of the II turn consist 40 m, the strong of the concrete 3 MPa.

При разработке крутопадающих рудных месторождений цветных металлов предпочтительными являются комбинированные системы разработки, позволяющие повысить полноту и эффективность извлечения руды. Горизонт разделяют на камеры I и II очереди, которые заполняют закладкой после завершения очистной выемки руды. Камеры I очереди заполняют монолитной твердеющей закладкой, создавая искусственные целики между камерами II очереди, обеспечивая возможность выемки запасов этих камер. При традиционном нисходящем порядке отработки в камерах II очереди создают искусственное днище из твердеющей закладки (примерно на 1/3 высоты камеры), а остальной объем заполняют породной закладкой.

При восходящем порядке отработки камеры II очереди полностью заполняют породной закладкой, в качестве которой стараются использовать дешевую закладку из породы от проходки горных выработок. Возможно также использование других отходов горно-перерабатывающего производства – шлаков металлургических заводов, хвостов обогатительных фабрик.

При заполнении камер II очереди породной закладкой возможна геомеханическая ситуация, показанная на рис.1. На целики действует горное давление со стороны пород висячего бока и давление сыпучей породной закладки, расположенной в камере II очереди. Эти две силы нельзя рассматривать отдельно друг от друга, так как при решении данной задачи они взаимосвязаны. С одной стороны, монолитный целик является несущей конструкцией, разрушаемой под действием горного давления Q пород

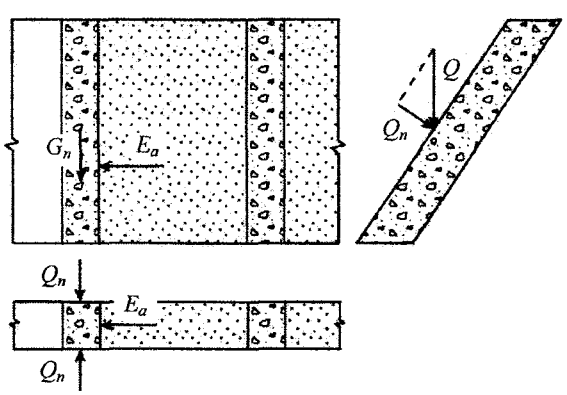


Рис.1. Расчетная схема для определения размеров монолитных целиков

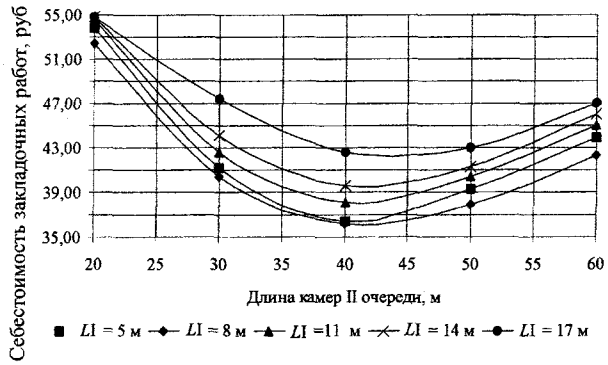


Рис.2. Зависимость себестоимости закладочных работ от длины камер II очереди при различной длине камер I очереди $l1$

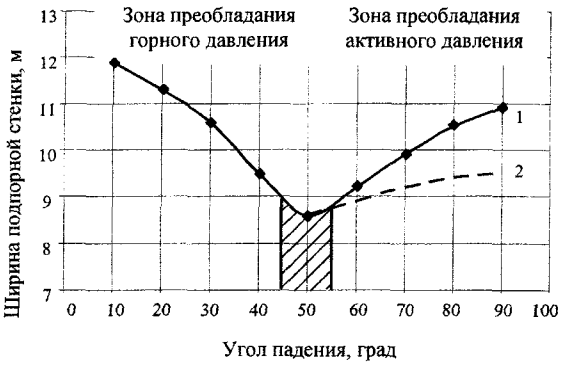


Рис.3. Зависимость ширины подпорной стенки от угла падения рудного тела

висячего бока. С другой стороны, он работает как подпорная стенка, разрушаемая активным давлением E_a сыпучей породной закладки камеры II очереди. Кроме того, горное давление Q_n, нагружая монолитный целик, защемляет его между висячим и лежачим боками залежи и повышает его прочность в направлении действия активного давления сыпучей закладки. Чем больше горное давление, тем большие нагрузки от действия активного давления способен выдержать монолитный целик. Однако эти нагрузки не должны превышать предел прочности на сжатие материала монолитного целика.

Отработку месторождения ведут в восходящем порядке. Отработка запасов этажа возможна, если ближайший к отрабатываемому блоку монолитный целик, у которого с одной стороны находится сыпучая закладка, а с другой – пустота, не разрушается. Размеры монолитного целика рассчитывают на горное давление на основании теории свода, по которой на целик давит только вес пород, находящихся в объеме свода [4], и на активное давление сыпучей закладки по методу Кулона, по которому на целик давит только вес сыпучего, находящийся в объеме призмы сползания камеры II очереди [3].

В качестве примера нами выполнен расчет параметров монолитных целиков для условий месторождения «Заполярное» Кольской ГМК. Пластообразная залежь средней мощности 11,5 м залегает под углом 55°.

Сначала были рассчитаны размеры монолитного целика в зависимости от длины камеры II очереди и прочности материала монолитного целика по критерию себестоимости закладочных работ (рис.2). Вначале наблюдалось снижение себестоимости из-за увеличения процента использования дешевой породной закладки, при этом длина монолитного целика увеличивалась незначительно. При дальнейшем увеличении длины камер II очереди резко возрастает горное давление на монолитный целик, что требует увеличения его размеров, количества дорогостоящей твердеющей закладки и повышения себестоимости закладочных работ. Минимальная себестоимость закладочных работ получена при длине камер I очереди 8 м, длине камер II очереди 40 м, прочности твердеющей закладки 3 МПа.

На размеры монолитного целика оказывает влияние угол падения рудного тела. При малых (10-30°) и больших (75-90°) углах падения размеры достигают максимальных значений (рис.3, кривая 1). Это связано с изменением нормальных и касательных составляющих горного и активного давлений на монолитный целик. При малых углах падения определяющими являются напряжения, вызванные давлением пород висячего бока, так как повышается нормальная к рудному телу составляющая горного давления. Это требует увеличения размеров монолитного целика (или увеличения прочности твердеющей закладки). В этом случае активное давление сыпучего намного меньше горного (из-за малой высоты камеры, ограниченной мощностью рудного тела) и не вызывает опасных напряжений в сечении целика.

При крутых углах падения наблюдается противоположная картина соотношения горного и активного давлений. Увеличивается высота камер. Активное давление сыпучей закладки возрастает до максимума: она уже не опирается на лежачий бок залежи (как при пологих углах падения), а передает все свое давление на подпорную стенку – монолитный целик, вызывая в нем опасные напряжения. Горное давление минимально из-за малой нормальной составляющей. Кроме того, оно не создает необходимого защемления подпорной стенки – монолитного целика для повышения его прочности и увеличения сопротивления действию активного давления. Для этого необходимо повышать размеры монолитного целика или прочность слагающей его закладки.

С другой стороны, при крутых углах падения со стороны висячего и лежачего боков начинают заметно проявляться тектонические силы. В связи с этим нормальная составляющая горного давления возрастет и повысит прочность монолитного целика в направлении действия активного давления. Так как при крутых углах падения определяющим является активное давление породной закладки, то появляется возможность уменьшить размеры монолитного целика (кривая 2) за счет защемления его тектоническими силами.

При средних углах падения (45-55°) наблюдается уменьшение размеров искусственного целика. При этих углах и горное давление породного массива, и активное давление сыпучей породной закладки находятся на среднем уровне, а их значения численно соотносятся между собой. Горное давление создает напряженное состояние в монолитном целике, не разрушая его, и повышает его прочность в перпендикулярном направлении – направлении действия активного давления. Таким образом, целик работает как балка, защемленная с двух сторон горным давлением.

На размеры целика также влияет прочность пород висячего бока. При подработке рудного тела над выработанным пространством образуется свод давления породы, в пределах которого нагружают монолитные целики [4]. Высота свода определяется пределом прочности пород на растяжение: чем больше прочность пород на растяжение, тем больше высота свода давления. Кроме того, наблюдается обратная зависимость между прочностью пород на растяжение и на сжатие: чем больше прочность пород на сжатие, тем меньше – на растяжение, т.е. при увеличении прочности пород висячего бока высота свода давления уменьшается, и целики испытывают меньшее давление. Также при увеличении прочности пород висячего бока возрастают размеры обнажения, которые он может выдержать, не разрушаясь, т.е. появляется возможность увеличить длину камер II очереди.

При уменьшении прочности пород висячего бока наблюдается обратная картина: увеличивается прочность пород на растяжение, растет высота свода давления, увеличивается горное давление на искусственные целики, растет ширина искусственного целика и его прочность, уменьшается допустимый пролет камер II очереди (заполненных породной закладкой).

При увеличении прочности пород висячего бока размеры камер I и II очереди увеличиваются неодинаково (рис.4). Размеры камер II очереди растут быстрее, чем размеры камер I очереди (монолитного целика), а следовательно, процент использования сыпучей породы в качестве закладки увеличивается.

Таким образом, чем прочнее породы висячего бока, тем больше пролет камер

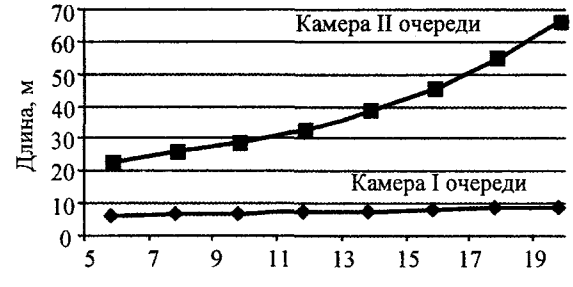


Рис.4. Зависимость длины камер I и II очереди от прочности пород висячего бока

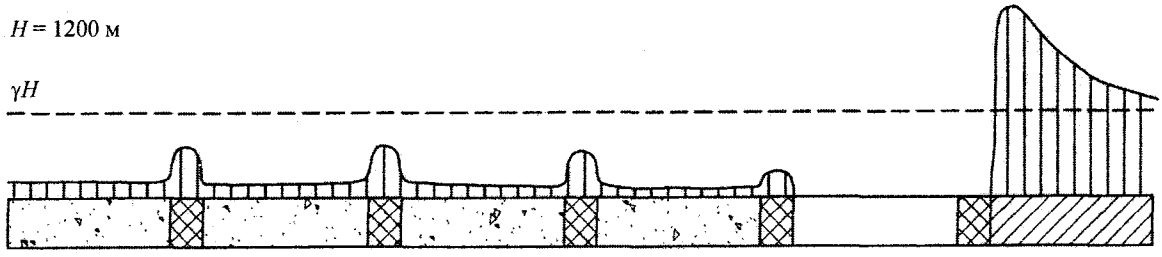


Рис.5. Напряжения, возникающие в монолитных целиках и сыпучей закладке

II очереди и процент использования породной закладки, и, как следствие, ниже себестоимость закладочных работ.

В результате расчетов напряженного состояния монолитных целиков в пределах всего этажа получили следующую картину. При отработке камер всего этажа напряжения, возникающие в монолитных целиках, превышают предел прочности материала целика на сжатие, однако разрушение целика не происходит. Сыпучая закладка, расположенная в камере II очереди, также воспринимает нагрузку со стороны пород висячего бока и распирает искусственный целик, повышая его прочность в направлении действия горного давления так же, как горное давление до этого повышало прочность целика в направлении действия активного давления (рис.5) [2]. Таким образом, целик переходит в состояние объемного сжатия, при котором его несущая способность может возрастать вплоть до гравитационной составляющей γH. Основную нагрузку пород висячего бока воспринимают монолитные целики, а сыпучая закладка ввиду большой компрессии практически не воспринимает нагрузку. Однако если подобрать состав сыпучей закладки таким образом, чтобы ее компрессионные свойства были минимальны, то она будет нагружена так же, как и искусственные целики. Данные результаты были получены методом расчета предельного прогиба пород кровли [1].

Сравнение результатов расчета напряжений, действующих в сечении рассчитываемого монолитного целика, полученных по теории свода и по предельному прогибу пород кровли, дают близкие результаты, что подтверждает правильность проведенных расчетов.

Проведенный анализ показывает высокую эффективность применения комбинированных систем разработки с созданием монолитных целиков в камерах I очереди и заполнением породной закладкой камер II очереди при отработке крутопадающих рудных тел на больших глубинах в прочных вмещающих породах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Борщ-Компониец В.И.* Горное давление при отработке мощных пологих рудных залежей / В.И.Борщ-Компониец, А.Б.Макаров. М.: Недра, 1986.

2. *Казикаев Д.М.* Совместная разработка рудных месторождений. М.: Недра, 1967.

3. *Прокофьев П.П.* Давление сыпучего тела и расчет подпорных стенок. М.: Недра, 1947.

4. *Цыганов М.Н.* Разработка месторождений полезных ископаемых с монолитной закладкой / М.Н.Цыганов, П.Э.Зурков. М.: Недра, 1970.