

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ПУСТОТ ЗАКЛАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ

Рассмотрены результаты исследований, посвященных определению параметров закладочных скважин, пробуренных с поверхности.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Отработка месторождений Кривбасса долгое время проводилась открытым и подземным способами. В некоторых случаях, подземные горные работы достигли бортов действующих карьеров, и под бортами действующих карьеров образовались подземные пустоты. Такая ситуация сложилась на карьере №1 ПАО «ЦГОК», Первомайском карьере ПАО «СевГОК». В предыдущих исследованиях было установлено [1], что возможность отработки бортов, опасных на предмет выхода пустот в виде воронок на поверхность, возможна только в случае их погашения из безопасной зоны путем закладки. Поэтому возникла необходимость определить основные параметры закладочных скважин, способных обеспечить заданную производительность и проходимость закладочного материала, представленного дробленой скальной массой..

Анализ исследований и публикаций. Самотечная закладка применяется при разработке крутопадающих месторождений, когда закладочный материал может размещаться в выработанном пространстве под действием собственной силы тяжести.

Применение самотечной закладки выработанного пространства на рудных и угольных шахтах осуществляется либо через горные выработки, либо через закладочные скважины, которые бурятся с дневной поверхности. При использовании горных выработок (диаметром свыше 3 метров), основное внимание уделяется гранулометрическому составу закладочных горных пород, который бы позволил обеспечить требуемую плотность закладки. Установлено, что для достижения высокой плотности закладочного массива необходимо применять закладочный материал с максимальным размером куска не более 250 - 300 мм, а содержание глинистых пород не должно превышать 20%. При этом содержание мелких частиц должно быть не более 10-15%, а фракции от 0 до 20 мм не более 30%. При мелкокусковом закладочном материале усадка достигает 25%, а при крупнокусковом 40% [2].

Практикой разработки мощных крутопадающих пластов в Кузнецком угольном бассейне (Россия) установлено, что в процессе заполнения выработанного пространства самотечным способом происходит расслоение закладочного материала по крупности кусков. Установлено, что в зависимости от угла падения пласта, формы кусков, влажности закладочного материала и т.п, куски породы, обладающие большей массой проходят более длинный путь, чем куски породы меньшей массы.

При использовании закладочных скважин и труб, кроме выше перечисленных требований, необходимо чтобы закладочный материал и технология его доставки к пустотам исключала возможность образования пробок. Так в работе [3] отмечается, что максимальный размер куска в закладочном материале не должен превышать 0,25 внутреннего диаметра закладочной скважины. В работах [4,5] дана информация о способах получения дробленого материала заданной крупности.

Постановка задачи. Определение параметров закладочных скважин и закладочного материала для обеспечения максимальной производительности закладочных работ при погашении пустот с поверхности.

Изложение материала и результаты. Экспериментально установлено, что массивные куски закладочного материала, имеющие окатанную форму, катятся по поверхности закладочной скважины, а куски пластинчатой формы скользят по поверхности скважины вниз [6,7].

В случае скольжения кусков породы по наклонной плоскости дифференциальные уравнения движения данного тела можно представить в следующем виде [8]

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg \sin \alpha - F_{mp}, \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = mg \cos \alpha - N, \end{cases} \quad (1)$$

Подставляя значение силы трения в первое дифференциальное уравнение системы и сократив в этом уравнении массу тела m , получим

$$\frac{dV}{dt} = g(\sin \alpha - f \cos \alpha)$$

Учитывая, что в левой части выше приведенного уравнения находится величина, определяющая ускорение тела, можно утверждать, что его значение постоянно, а значит, тело будет двигаться равноускоренно.

Для определения конечной скорости тела, в дифференциальном уравнении произведем разделение переменных, а затем проинтегрируем в соответствующих пределах

$$\int_0^V dV = \int_0^t g(\sin \alpha - f \cos \alpha) dt$$

Предполагая, что в начальный момент времени скорость тела равна нулю, получим:

$$V = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) t, \text{ или } dx = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) t dt$$

Интегрируем это уравнение в предположении, что в начальный момент времени x равно нулю

$$\int_0^L dx = \int_0^t g(\sin \alpha - f \cos \alpha) t dt$$

И получим

$$L = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) \frac{t^2}{2}$$

где L - протяженность закладочной скважины, м; t - время прохождения сыпучего материала через закладочную скважину, с.

Учитывая, что при расчетах технологических параметров процесса закладки выработанного пространства, длина скважины и ее угол наклона известны, время прохождения сыпучего материала, с учетом выше приведенного выражения, может быть определено из следующего выражения

$$t = \sqrt{\frac{2L}{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}} \quad (2)$$

На рис. 1 представлена зависимость времени движения сыпучего материала в закладочной скважине от ее длины при различных значениях ее угла наклона, а на рис. 2 - от величины коэффициента внешнего трения.

Экспериментально установлено, что при движении даже сухих мелких породных фракций между ними возникают силы молекулярного сцепления, которые могут существенно превышать силу тяжести. Это приводит к тому, что скорость сыпучего материала у стенки на 40% меньше, чем в середине, а в некоторых случаях вдоль стенок трубы образуется неподвижный слой сыпучего материала [9].

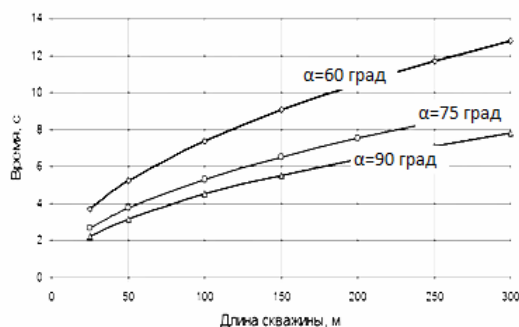


Рис. 1 Зависимость времени движения сыпучего материала по скважине от ее длины при различных углах наклона

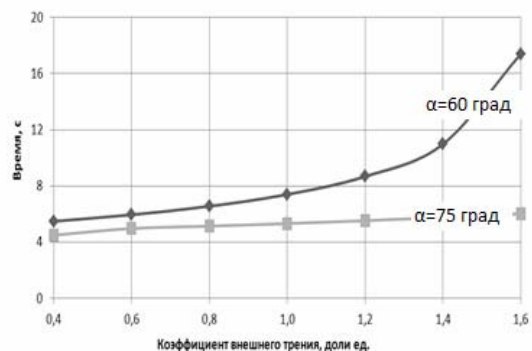


Рис. 2 Зависимость времени движения сыпучего материала по скважине длиной 100 метров от различных значений коэффициента внешнего трения сыпучего материала

В работе [10] приведены результаты определения углов внешнего трения отбитой железной руды об породный монолит при осуществлении ее выпуска.

В результате было установлено существенное снижение угла внешнего трения при увеличении крупности отбитой железной руды, что и отражено на графике, который приведен на рис. 3.

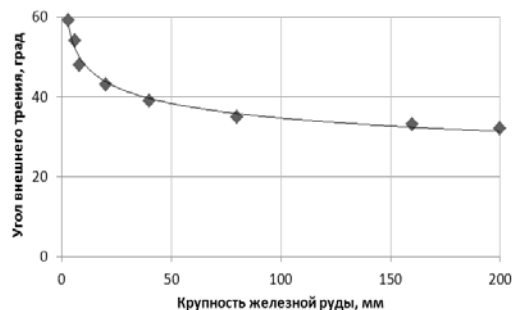


Рис. 3. Зависимость угла внешнего трения от крупности руды

Выполненная аппроксимация данных работы [10], позволила получить аналитическое выражение для описания данной зависимости угла внешнего трения φ^1 разрушенной скальной породы от ее крупности d (в мм) следующего виде

$$\varphi^1 = 67,7 d^{0,145}, \text{ град.} \quad (3)$$

Качество аппроксимации данной зависимости: $R^2 = 0,986$.

Использование аналитической зависимости (3), позволяет численно определить закономерность изменения времени скольжения отдельных фракций сыпучего материала по поверхности закладочной скважины в зависимости от их линейных размеров.

В этом случае, с учетом выражений (2) и (3) получим следующее выражение для определения времени скольжения отдельных фракций сыпучего материала по поверхности закладочной скважины в зависимости от их линейных размеров в следующем виде

$$t = \sqrt{\frac{2L}{g[\sin \alpha - \operatorname{tg}(67,7 d^{0,145}) \cos \alpha]}} \quad (4)$$

где L – длина закладочной скважины, м; d – линейный размер куска породы в закладочном материале, мм; α – угол наклона скважины, град.

На рис. 4 приведена зависимость времени скольжения сыпучего материала по поверхности закладочной скважины с углом наклона 75° , в зависимости от линейных размеров кусков породы.

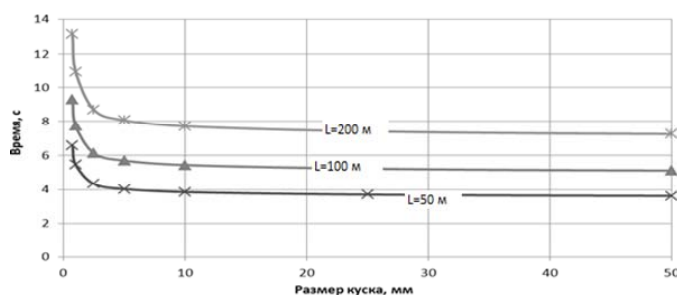


Рис. 4. Закономерности изменения времени движения фракций сыпучего материала в закладочной скважине от их размера

Данная зависимость однозначно показывает, что в процессе скольжения сыпучего материала по поверхности закладочной скважины произойдет его разделение по фракциям.

Большие куски породы покатаются по поверхности скважины и за короткое время достигнут выработанного пространства. Средние куски породы будут скользить по поверхности скважины и за более длительное время достигнут выработанного пространства. Мелкие куски породы ($d \leq 4$ мм) будут медленно скользить по поверхности скважины и при определенных условиях их движение прекратится совсем. Очевидно, что в этом случае образование породной пробки в скважине с течением времени более чем вероятно, и при проектировании параметров закладки такого развития событий необходимо избегать.

Совместное решение уравнений (2-4) позволило получить эмпирическое соотношение позволяющее определять максимальный размер куска породы, который уже не будет скользить по поверхности закладочной скважины в зависимости от ее угла наклона в следующем виде

$$d \leq (67,7/\alpha)^{6,9}$$

где d – линейный размер куска породы в закладочном материале, мм; α – угол наклона скважины, град.

При осуществлении процесса закладки пустот сыпучим материалом самым главным технологическим параметром является производительность закладочного оборудования. Очевидно,

что эта производительность должна быть по возможности максимальной, чтобы минимизировать время заполнения пустот.

При этом она не должна быть такой значительной, чтобы возникла даже вероятность образования в закладочной скважине свода естественного равновесия, т.к. в этом случае произойдет закупорка скважины и дальнейшая подача сыпучего материала прекратится, а дорогостоящая закладочная скважина будет потеряна.

Условием, при котором исключаются предпосылки закупорки закладочной скважины дробленной горной породой является то, что через ее поперечное сечение в единицу времени должно проходить ровно столько закладочного материала, сколько его подается питательным устройством, т.е.

$$Q = j S V$$

где Q - производительность питательного устройства, м³/с; j - коэффициент заполнения скважины, обычно принимаемый 0,35-0,5 [9]; S - расчетная площадь поперечного сечения закладочной скважины; V - скорость перемещения потока горной породы по закладочной скважине, м/с.

Из приведенных решений следует, что закладочный материал будет двигаться с ускорением, поэтому пропускная способность скважины будет увеличиваться от ее начала к устью скважины, что находится в районе выработанного пространства.

В связи с этим логично определять предельную пропускную способность закладочной скважины именно в ее начале.

Тогда расстояние, которое пройдет поток закладочного материала за единицу времени будет равен

$$\Delta L = V_0 t + 0,5 a t^2$$

С учетом того, что начальную скорость закладочного материала можно считать равной нулю, а также выше приведенных результатов аналитического описания процесса движения сыпучего материала, выше приведенная формула может быть приведена к следующему выражению

$$\Delta L = g (\sin \alpha - f \cos \alpha) \frac{t^2}{2}$$

Тогда за первую секунду своего движения в закладочной скважине поток сыпучего материала пройдет расстояние

$$\Delta L = 4,9 (\sin \alpha - f \cos \alpha) ,$$

где ΔL - расстояние, пройденное потоком сыпучего материала за первую секунду своего движения, м/с.

Тогда искомая производительность закладочного комплекса будет равна, (м³/с)

$$Q = 4,9 (\sin \alpha - f \cos \alpha) j S$$

В соответствии с результатами работы [3], расчетная площадь сечения S закладочной скважины может быть определена по следующей эмпирической формуле

$$S = \frac{\pi}{4} (D - 1,5 d_{cp})^2 ,$$

где D - диаметр отверстия истечения, м; d_{cp} - средний размер куска, м

На основании полученных выражения построены аналитические зависимости предельной производительности закладочной скважины от ее угла наклона (рис. 5) и диаметра (рис. 6).

При этом необходимо подчеркнуть, что определяемая производительность является теоретической.

Очевидно, что эксплуатационная производительность закладочных скважин будет существенно ниже, ввиду неизбежной потери времени на различные технологические операции не связанные напрямую с процессом закладки сыпучего материала.

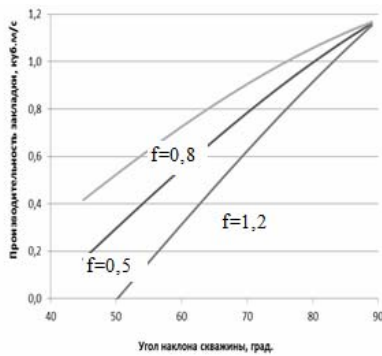


Рис. 5. Зависимость производительности закладочной скважины от ее угла наклона при различных значениях коэффициента внешнего трения

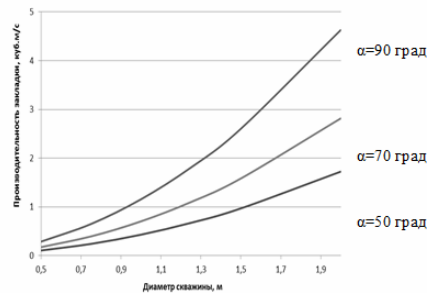


Рис.6 Зависимость производительности закладочной скважины от ее диаметра при различных значениях угла наклона

Из приведенных формул следует, что куски разного размера будут двигаться с разным ускорением, а значит, производительность закладочного процесса для различных фракций гранулометрического состава закладочного материала будет различна, а в целом будет зависеть от величины среднего куска закладочного материала.

Выводы и направления дальнейших исследований. Полученные теоретические зависимости позволяют определить максимальный и минимальный размер куска подаваемой в скважину дробленой горной массы, а также определить возможную теоретическую пропускную способность скважины в зависимости от ее диаметра и угла наклона. В дальнейших исследованиях планируется разработка технологических схем организации закладочных работ на площадках уступов карьеров.

Список литературы

1. **Перегудов Ю.В.** Анализ эффективности ведения открытых горных работ на крутопадающих месторождениях в зонах возможного обрушения// *Гірничий вісник*, 2013. – Вип.96. – Кривий Ріг : КТУ. – С. 49-54.
2. **Перегудов Ю.В.** Анализ геомеханических процессов и обеспечение безопасности совместной разработки месторождений в зоне возможного воронкообразования// *Вісник Криворізького технічного університету*, 2012. – Вип.30. – Кривий Ріг : КТУ. – С. 14-18.
3. **Вяткин А.П.** и др. Транспортability закладочных смесей по трубам в самотечно-пневматическом режиме. –М.: Цветметинформация, 1975, -37с.
4. **Андреев Е. Е., Тихонов О. Н.** Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. — СПб., СПГТУ, 2007.
5. Пат. 2347616 РФ. Щековая дробилка двойного дробления/А. Н. Петухов, П. С. Желобков, А. И. Дашкевич; опубл. 27.02.2009, Бюлл. № 6.
6. *Справочник по горнорудному делу*. М.: Недра, 1983, - 816 с
7. **Саханов А.П.** Особенности и пути совершенствования самотечной закладки Кузбассе. –М.: Углетехиздат, 1958, - 51 с
8. **Воронков И.М.** Курс теоретической механики. М.: Гостехиздат, 1954
9. **Гячев Л.В.** Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах. М.: Машиностроение, 1968
10. **Барон Л.И.** Характеристики трения горных пород. М.: Наука, 1967, -208 с. ил.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14
УДК 622.1:622.831.3

О.В. ДОЛГІХ, канд. техн. наук, доц., Т.О. ПОДОЙНІЦИНА, ст. викладач
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ПРОБЛЕМИ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ МАРКШЕЙДЕРСЬКОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА ЇЇ ПЕРЕДБАЧЕННЯ

Розглянуто питання використання теорії нейронних мереж при прогнозуванні величин деформацій, виходу провалів на денну поверхню від впливу підземних гірничих робіт. Для підвищення якості прогнозування на основі використання сучасних статистичних методів важливою задачею є якісна інтерпретація маркшейдерської інформації та її передбачення.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Останнім часом з'являються нові легкі та надійні маркшейдерсько-геодезичні прилади. Зміни матеріальної бази