

Канд. техн. наук В.А. Калиниченко
(Криворожский технический университет)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ И ПОДВИЖКИ
ДРОБЛЕННЫХ ПУСТЫХ ПОРОД НА ГРАНИЦЕ
С ОБРУШАЕМЫМ РУДНЫМ МАССИВОМ**

Запропоновано методику моделювання ущільнення пустих порід на межі з обваленим рудним масивом без використання вибухового навантаження. Моделювання цього процесу дозволяє визначити величину і характер посування породного масиву залежно від товщини породного шару, ЛНО і кількості шарів руди, що відбиваються.

**MODELING OF CONDENSATION AND MOTION
BARREN ROCK OF EMPTY BREEDS ON BORDER
WITH MINING ORE BY A FILE**

The technique of modeling of condensation of empty breeds on contact with mining ore by a file without application of explosive loading is offered. The modeling of the given process allows to define size and character of a motion of a file depending on thickness of a layer, and quantity of blown up layers of ore.

Технология отработки блока (панели) на границе с отработанным участком залежи предполагает отбойку руды на контакте с дробленными пустыми породами. При этом происходит уплотнение пустых пород взрывом скважинных зарядов. Характер уплотнения и величина подвижки дробленных пустых пород оказывает значительное влияние на показатели извлечения отбитой руды при ее выпуске на контакте с уплотненными пустыми породами, характеризуя в иных случаях эффективность производства очистных работ в целом по выемочной единице.

С целью определения величины и характера подвижки породного массива осуществлялось лабораторное моделирование процесса уплотнения дробленных пустых пород для получения качественных и количественных характеристик поведения массива руды и обрушенной пустой породы.

Физические процессы, происходящие при взрывной отбойке рудного массива и уплотнении породного массива на границе с обрушаемой рудой, отличаются большой сложностью и многогранностью. Их изучение связано с большими трудностями, как при аналитических исследованиях, так и при непосредственных наблюдениях в натуральных условиях. Многие из этих вопросов могут быть решены только на базе экспериментальных исследований, и в частности, с помощью лабораторного моделирования. В этом случае предлагаемый метод лабораторного моделирования позволяет получить достаточно полную картину поведения уплотняемого массива горных пород без использования сложного взрывного нагружения.

Моделирование уплотнения и подвижки пустых пород осуществлялось применительно к технологиям обрушения руды на компенсационное пространство и отбойки руды в «зажатой среде». При этом, физико-механические свойства модели находилось в определенных соотношениях с

физико-механическими характеристиками горных пород. Эти соотношения определялись на основании общих положений теории механического подобия.

При моделировании использовалось геометрическое подобие в виде соотношения линейных размеров, которое характеризовалось масштабом моделирования k_m и определялось из выражения [1]

$$\frac{L}{l} = k_m,$$

где L и l – линейные размеры соответственно натурального объекта и модели, м.

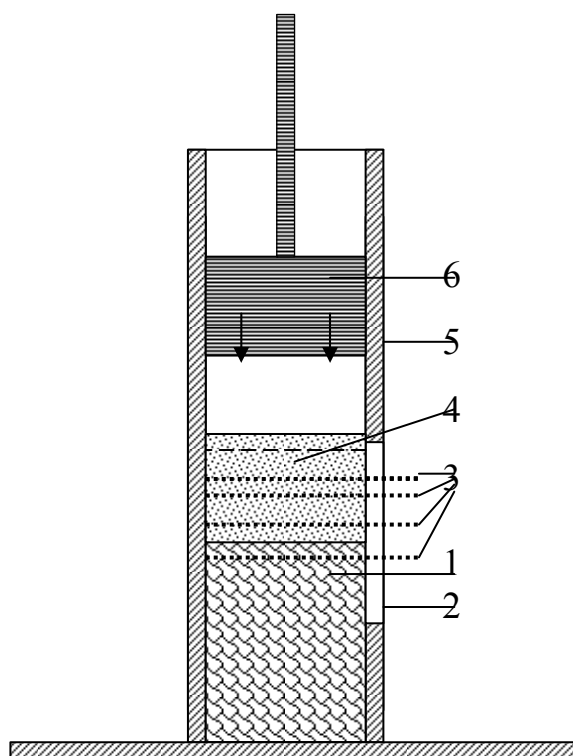
В проведенных экспериментах геометрическое подобие лабораторного моделирования обеспечивал масштаб моделирования, равный 1:100.

Динамическое подобие, характеризующее отношение массы исследуемых частиц, рассчитывали из условия

$$\frac{M}{m} = \frac{\rho_n \cdot L}{\rho_m \cdot l} = \frac{\rho_n}{\rho_m} k_m^3,$$

где M и m – соответственно масса натуре и модели, кг; ρ_n и ρ_m – соответственно объемная плотность натуре и модели, кг/м³.

Модель для исследования уплотнения и подвижки пустых пород представляла собой вертикальный металлический цилиндр 5 диаметром 200 мм с продольным разрезом 2 и градуированной метрической шкалой (рис. 1).



1 – уплотняемый массив (пустая порода); 2 – продольный разрез для движения контрольного маяка; 3 – контрольный маяк; 4 – обрушаемые слои руды; 5 – корпус модели; 6 – металлический поршень

Рис. 1 - Модель для исследования уплотнения и подвижки пустых пород:

Продольный разрез служил для перемещения контрольных маяков 3, фиксирующих величину подвижки уплотняемого массива, а также плоскости контакта руда – пустая порода.

Динамическое уплотнение пустых пород, имитирующее воздействие взрыва на поверхность контакта обрушаемая руда – пустая порода, моделировалось путем динамического уплотнения металлическим поршнем 6 насыпных слоев дробленой руды 4 и пустой породы 1 внутри металлического цилиндра 5.

В качестве эквивалентных материалов использовались дробленая пустая порода и магнетитовая руда различных фракций, соответствующих принятому масштабу моделирования.

Первоначально моделирование уплотнения пустых пород при отбойке руды на компенсационное пространство моделировалось для взрыва одного приграничного слоя руды. Моделирование осуществлялось следующим образом.

Нижняя часть модели загружалась пустой породой 1, имитирующей обрушенный массив пустых пород на границе с отбиваемым рудным массивом. Толщина слоя пустых пород варьировалась в широких пределах, соответствующих ширине обрабатываемого блока (панели). Далее на пустые породы засыпался слой руды 4, соответствующий весу первого обрушенного слоя, равного расстоянию от плоскости разбуренных глубоких скважин до контакта с пустыми породами. Поскольку толщина разрыхленного рудного слоя больше толщины монолитного слоя массива, загруженная модель уплотнялась путем динамического воздействия на него металлическим поршнем. Уплотнение первого обрушенного слоя руды осуществлялось до отметки, соответствующей положению плоскости второго (не обрушенного) слоя руды.

Внутри массива, а также на контакте «обрушенная руда – пустая порода» укладывались контрольные маяки 3. Наличие контрольных маяков в массиве горных пород позволило получить картину уплотнения исследуемого массива на различном расстоянии от контакта «обрушенная руда - пустая порода».

После динамического уплотнения разрыхленной горной массы проводился замер подвижки плоскости контакта руда – порода и рассчитывались коэффициенты разрыхления уплотненной рудной массы и пустых пород.

Аналогичным образом выполнялось моделирование уплотнения пустых пород и обрушенной руды при технологии отбойки массива в «зажатой» среде. В этом случае производили загрузку отбитой пустой породы, установку контрольных маяков, засыпку первого слоя руды и имитацию динамического нагружения применительно к первому исследуемому слою.

Лабораторные исследования проводились для различных величин, характеризующих расстояние от плоскости разбуренных глубоких скважин до контакта с пустыми породами. В случае моделирования технологии отбойки руды в «зажатой среде» эта величина равнялась линии наименьшего сопротивления (ЛНС).

Основной отличительной особенностью моделирования уплотнения пустых пород и обрушенной руды при технологии отбойки массива в «зажатой» среде заключалось в том, что в этих экспериментах моделировалось уплотнение пустых пород при взрыве нескольких слоев руды. В этом случае порядок моделирования уплотнения пустых пород и обрушенной руды осуществляли в следующей последовательности. После уплотнения первого слоя обрушенной руды проводили загрузку второго исследуемого слоя и осуществляли имитацию динамического нагружения применительно ко второму исследуемому слою. После замера показаний контрольных маяков проводили загрузку очередных слоев руды и повторяли процесс.

Показания контрольных маяков, расположенных в дробленных пустых породах и на контакте обрушенная руда - пустая порода, тщательно замерялись и фиксировались.

Разница между исходным и конечным показанием контрольных маяков позволяла определять характер уплотнения и величину подвижки исследуемого массива. Исходя из полученных значений, определяли величину коэффициента разрыхления обрушенной руды и массива пустых пород, расположенных на контакте с рудным массивом.

Обработка результатов моделирования осуществляется методами математической статистики [2].

При обработке сложных технологических процессов объем обрабатываемого статистического материала оказывается весьма значительным. В этом случае обработку результатов моделирования осуществляли математическими схемами случайных событий, случайных величин и случайных функций.

В соответствии с этим вероятность наступления положительных событий определялась из выражения

$$B = m / N ,$$

где m – общее количество событий; N – количество положительных событий.

Математическое ожидание случайной величины определяется как среднее арифметическое ее возможных значений [3]

$$X' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i ,$$

Тогда для вычисления оценки дисперсии можно воспользоваться формулой

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2 - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 ,$$

Из формулы следует, что для определения величины дисперсии достаточно накапливать значения $\sum X_i^2$ и $\sum X_i$.

В общем виде необходимое число экспериментов определялось из выражения

$$N_o = P^\phi,$$

где ϕ – количество главных влияющих факторов; P – число уровней варьирования факторов.

Из выражения видно, что основное влияние на общее число опытов оказывает количество главных влияющих факторов.

Как показали лабораторные исследования, основное смещение зажимающего материала происходит именно после взрыва первого ряда скважин. Величина смещения контакта характеризуется показателем Δl и определяется по формуле

$$\Delta l = \frac{l_y (k_p - k_{p1})}{k_{\delta}},$$

где Δl – смещение контакта руда – порода, м; l_y – толщина слоя уплотненного материала, м; k_p, k_{p1} – усредненный коэффициент разрыхления зажимающего материала соответственно до и после взрыва первого ряда скважин; k_{δ} – коэффициент бокового уплотнения, зависит от ширины и характера бокового контакта панели, $k_{\delta} = 0,9 - 1$.

Толщина слоя уплотненного материала зависит от крепости, коэффициента разрыхления и ширины участка «зажимающего» материала, который неравномерен по высоте блока и определяется из выражения

$$l_{з.н.} = \left(\frac{H'}{\operatorname{tg} \alpha} + d_{\epsilon} \right) - \frac{H'}{a/b},$$

$$l_{з.н.} = \left(\frac{H'}{\operatorname{tg} \alpha} + d_{\epsilon} \right) - \frac{H - H'}{a/b},$$

В результате исследований было установлено, что переуплотнение «зажимающего» материала наблюдается на расстоянии $l_n = 0,5 - 0,7$ м от контакта с обрушенной рудой, что составляет 7 – 9 % общей величины смещения «зажимающих» пород. Эта зона переуплотнения обрушенных «зажимающих» пород характеризуется превышением минимально допустимого коэффициента разрыхления обрушенных пород.

Таким образом, на контакте с обрушенной рудой формируется защитный слой переуплотненной пустой породы, который характеризуется отсутствием

сыпучих свойств «зажимающего» материала. Следовательно, при последующем выпуске обрушенной руды, находящейся на границе с «зажимающими» пустыми породами, создаются благоприятные условия для выпуска обрушенной руды под прикрытием уплотненного слоя «зажимающего» материала, что способствует снижению бокового разубоживания и повышению общих показателей извлечения обрушенной железной руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Насонов И.Д. Моделирование горных процессов. – М.: Недра, 1978. – 254 с.
2. Нелинейная корреляция и регрессия. – К.: Техника, 1971. – 216 с. С.П. Воловельская, А.И. Жилин, С.А. Кулиш С.А. и др.
3. Потапов В.Д., Яризов А.Д. Имитационное моделирование производственных процессов в горной промышленности. – М.: Высшая школа, 1981. – 191 с.