

УДК 622.272

**Г.К. Джангулова, Л.Н. Жеребко, Л.М. Пивоварова**

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ  
МОЩНЫХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ПОД ОБРУШЕННЫМ  
МАССИВОМ СИСТЕМОЙ С САМООБРУШЕНИЕМ**

*Предложена методическая схема расчета и оценка процесса формирования зоны обрушения при отработке рудных залежей системой с самообрушением*

*Ключевые слова: зона обрушения, самообрушение, рудные залежи, геомеханика, сводообразование.*

---

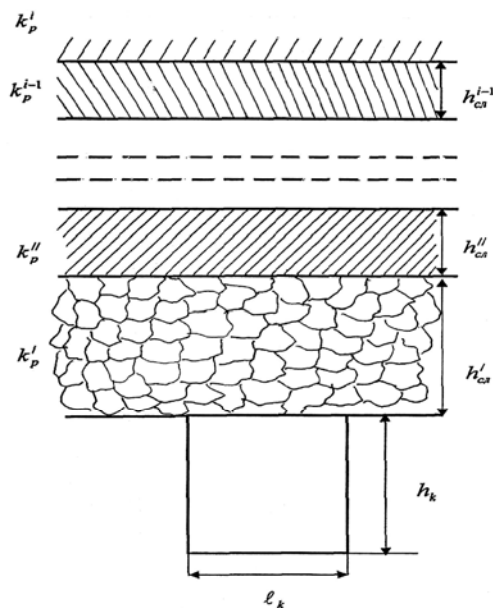
**П**ри отработке мощных рудных залежей в сложных горно-геологических условиях, обусловленных высокой структурной нарушенностью и низкой прочностью рудного и породного массивов, наиболее распространенной является система с обрушением. Одной из основных особенностей данной системы является формирование зоны обрушенных пород над выработанным пространством. В процессе очистной выемки образуется слой обрушенной рудной массы, в последующем, очистное пространство заполняется обрушенными породами налегающего массива.

Формирование свода обрушений, и зоны обрушенных пород над выработанным пространством рассматривается как процесс протекающий непрерывно с учетом временного фактора, так как связан с развитием фронта очистных работ и геотехнических особенностей налегающих пород при отработке мощных рудных залежей с образованием больших объемов выработанных пространств. В этом случае процесс развития и формирования свода обрушений происходит относительно равномерно по всему фронту ведения очистных работ и поэтому при определе-

нии параметров сводообразования возможно рассматривать отдельный элемент выделяя его из обширной зоны обрушения, то есть использовать расчетную схему с правильными прямоугольными формами очистной камеры и свода обрушенных пород, что вполне допустимо принципами геомеханики.

Для условий, когда налегающие породы представлены относительно изотропным в геомеханическом отношении массивом, где степень разрыхляемости может быть выражена единым коэффициентом  $k_p$ , вопрос сводообразования не представляет особых трудностей. Однако в практике отработки месторождений имеют место случаи, когда налегающий массив представлен слоями пород разной мощности с различными геотехническими характеристиками, что несколько усложняет задачу.

Разработанная общая методическая схема к расчету высоты свода обрушения при отработке рудных залежей под слоистым массивом, когда налегающие слои пород имеют различные мощность  $h_{cl}$  и геотехнические характеристики, в частности  $k_p$  [1]. Расчетная схема для проведения



**Рис. 1. Схема для определения высоты свода обрушения при отработке очистных камер под слоистым массивом пород**

аналитических исследований представлена на рис. 1.

В результате обработки результатов исследований определены высота свода обрушений  $h_{cb}$  и суммарная высота обрушенных пород  $h_{об}$ . Высота свода обрушений  $h_{cb}$  находится из соотношения:

$$h_{cb} = h_{cl}^i + h_{cl}^{ii} + h_{cl}^{iii} + \dots + h_{cl}^i, \quad (1)$$

где

$$h_{cl}^i = \frac{h_k - [h_{cl}^i (k_p^i - 1) + h_{cl}^{ii} (k_p^{ii} - 1) + h_{cl}^{iii} (k_p^{iii} - 1) + \dots + h_{cl}^{i-1} (k_p^{i-1} - 1)]}{k_p^i - 1}. \quad (2)$$

При большом количестве слоев в налегающей толще уравнение (16) решается при выполнении условия:

$$h_k \geq \sum_{n=1}^{i-1} h_{cl,n} (k_{p,n} - 1), \quad (3)$$

где  $n$  – количество слоев вовлекаемых в обрушение.

Суммарная высота обрушенных пород:

$$h_{об} = h_{cb} + h_k. \quad (4)$$

Иными словами, при заданном количестве слоев вовлекаемых в зону обрушения определяется уровень расположения граничного слоя или сплошного массива, из которого формируется остаточная часть свода обрушения.

Разработанная методическая схема является исходным положением для расчета и оценки процесса формирования зоны обрушения при отработке очистных камер под обрушенным массивом. Данная ситуация возникает при поэтапной отработке мощных рудных залежей в две очереди. На первом этапе, в результате проведения очистных работ в налегающем массиве формируется зона обрушенных, разрыхленных пород с определенной степенью уплотнения. На втором этапе горные работы проводятся под слоистым массивом, где нижний слой представлен обрушенными породами, а последующие слои нетронутым массивом с соответствующими геотехническими характеристиками.

Для решения вопроса развития и формирования свода обрушения в процессе отработки очистной камеры второй очереди нижележащего горизонта  $h_{k,2}$ , необходимо установить коэффициент разрыхления  $k_p^i$  пород первого слоя  $h_{cl}^i$ , который находится в прямой функциональной зависимости от степени уплотнения  $k_{упл}$  обрушенных пород  $h_{cl}^i$ . С этой целью

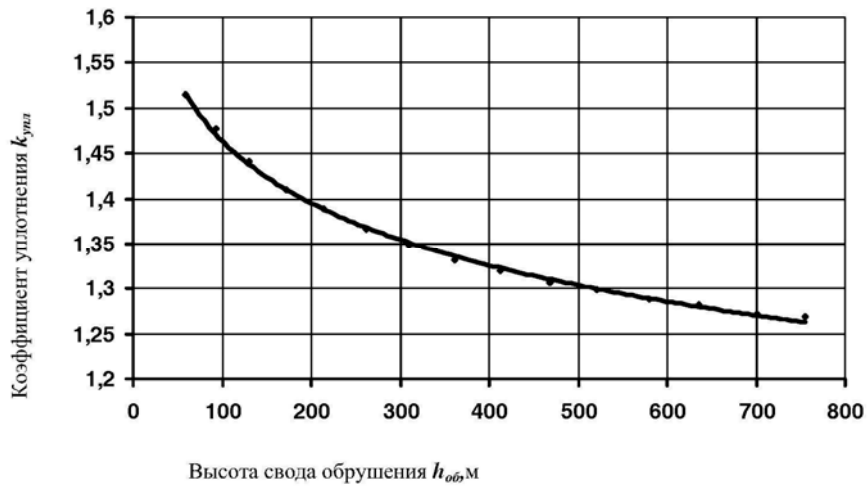


Рис. 2. Зависимость коэффициента уплотнения от высоты свода обрушения

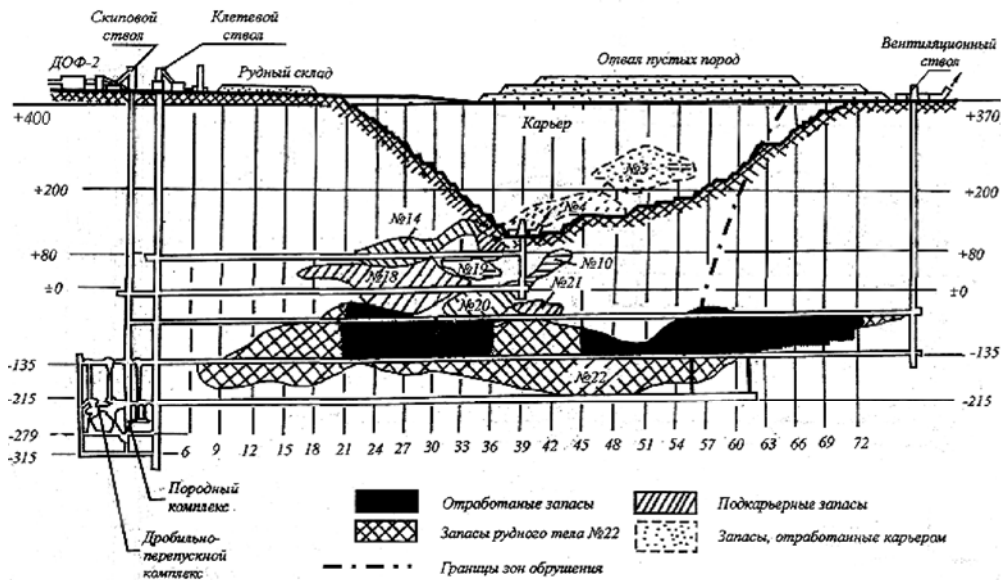


Рис. 3. Совмещенный вертикальный разрез и схема вскрытия шахты «Молодежная»

первоначально определяем высоту слоя  $h'_{сл}$  для заданных значений параметров

очистных камер первой очереди  $h_{к.1}$ , в результате отработки которых и сформировался слой обрушенных пород. Используя выражение [2],

$$h_{об} = k_{об} \cdot h_k, \quad (5)$$

а также используя результат проведенных численных расчетов для очистных камер различной высоты  $h_k$ , полученную графическую зависимость среднего значения коэффициента уплотнения  $k_{упл}$  от

высоты обрушенных пород, представленную на рис. 2, которую аппроксимируем эмпирической зависимостью вида:

$$k_{упл} = 0,329e^{-0,0035h_{ог}} + 1,238. \quad (6)$$

Находим высоту и степень уплотнения первого слоя:

$$h'_{сл} = h_{к,1}(0,0618h_{к,1}^{0,7186} + 2,409). \quad (7)$$

Коэффициент уплотнения  $k_{упл}$  характеризуется степенью разрыхленности объема уплотненной обрушенной горной массы  $V_{упл}$  по отношению к объему в нетронутом массиве  $V_M$  и определяется соотношением:

$$k_{упл} = \frac{V_{упл}}{V_M} \text{ или } V_{упл} = k_{упл} V_M. \quad (8)$$

Коэффициент разрыхления горных пород  $k_p$  определяется отношением объема породы в разрыхленном (насыпном) виде  $V_{разр}$  к ее объему в массиве  $V_M$ :

$$k_p = \frac{V_{разр}}{V_M} \text{ или } V_{разр} = k_p V_M. \quad (9)$$

При рассмотрении величин  $k_p$  и  $k_{упл}$  принимаем значение объема уплотненной обрушенной горной массы  $V_{упл}$  равным объему массива первого слоя  $h'_{сл}$ :

$$k'_p = \frac{V_{разр}}{V_{упл}} = \frac{k_p V_M}{k_{упл} V_M} = \frac{k_p}{k_{упл}}, \quad (10)$$

где  $k_p$  – коэффициент разрыхления массива горных пород при формировании свода (слоя  $h'_{сл}$ ) в процессе отработки камер первой очереди. Для

расчета высоты свода обрушения при отработке камер второй очереди, используются выражения (1) и (2), где  $h_k$  принимает значение  $h_{к,2}$ , т.е. высоты камер при проведении очистных работ второй очереди.

Выполненные численные расчеты дают прогнозные данные сдвижения земной поверхности и формирования мульды сдвижения при отработке рудной залежи системой с самообрушением первой и второй очереди, то есть в динамике развития горных работ.

Для примера рассмотрим ситуацию складывающуюся на шахте «Молодежная» Донского ГОКа, где ведется отработка мощного рудного тела № 22 в две очереди, первоначально с горизонта – 135 м, а в последующем с горизонта – 215 м (рис. 3).

При ведении горных работ второй очереди очистные камеры будут располагаться под обрушенным, предварительно уплотненным, массивом. В результате процесс формирования зоны обрушений над очистным пространством рассчитывается по методической схеме отработки рудной залежи под слоистым массивом с различными геотехническими характеристиками каждого слоя. В рассматриваемом нами случае первый, нижний, слой представлен уплотненными обрушенными породами с коэффициентом уплотнения  $k_{упл.сп} = 1,278$ . Для данного массива, как было показано выше, коэффициент разрыхления  $k'_p$  находится из соотношения:

$$k'_p = \frac{k_p}{k_{упл.сп}} = \frac{1,6}{1,278} = 1,252$$

Здесь  $k_p$  – коэффициент разрыхления нетронутого массива.

Для второго слоя коэффициент разрыхления  $k_p''$  будет равен значению  $k_p$ , т.е.  $k_p'' = k_p = 1,6$ .

При этом высота первого слоя  $h_{cl}'$  будет равна разнице между высотой обрушенных и уплотненных под действием собственного веса пород  $h_{об}$  и величиной доуплотнения за счет действия вторичных сил равной высоте проседания  $H_{пр}$

$$h_{cl}' = h_{об} - H_{пр} = 310 - 28 = 282 \text{ м.}$$

Высота второго слоя  $h_{cl}''$  равна мощности нетронутых горных пород  $H$  над зоной обрушения  $h_{cl}'' = H = 205 \text{ м.}$

При отработке второй очереди месторождения, а именно нижней части рудного тела № 22, расчетная высота очистной камеры принимается равной  $h_{к.2} = 60 \text{ м}$ , как предельная с учетом мощности обрабатываемой залежи.

Методическая схема расчета развития и формирования зоны обрушения для данного варианта отработки принимается аналогичной с изложенной при отработке камер первой очереди, с учетом изменившихся геотехнических условий [2].

Для слоистой налегающей толщи расчет сводообразования при отработке очистной камеры производится по аналитическим зависимостям (1) и (2), для этого предварительно проверяется условие (3). Решая соотношение:

$$h_{cb} = \frac{h_k}{k_p - 1}, \quad (11)$$

где  $h_k$  – высота очистной камеры;  $k_p$  – коэффициент разрыхления.

Получено, что первоначальный свод сформируется в пределах первого слоя  $h_{cl}'$ . В результате расчетная высота свода  $h_{cb}'$  будет равна:

$$h_{cb}' = \frac{h_{к.2}}{k_p' - 1} = \frac{60}{1,252 - 1} = 238 \text{ м,}$$

а полная высота обрушенных пород

$$h_{об}' = h_{к.2} + h_{cb}' = 60 + 238 = 298 \text{ м.}$$

Оставшаяся часть первого слоя  $h_{cl}''$  нетронутого первоначальным обрушением будет равна:

$$h_{cl}'' = h_{cl}' - h_{cb}' = 282 - 238 = 44 \text{ м.}$$

Далее, используя соотношение [2]:

$$D = 2,543 \cdot h_{об}'^{0,4529} - 10,247, \quad (12)$$

находим среднее значение уплотнения  $D$ , рассчитываем относительное сжатие и определяем величину зазора  $h_{зас}'$ . В результате имеем:  $D = 14,3 \%$ ;

$$h_{зас}' = h_{об}' \cdot D = 298 \cdot 0,143 = 43 \text{ м.}$$

В проведении последующих расчетов величина зазоров принимается как условные камеры, на которые формируются дальнейшие обрушения.

Таким образом, вторичный этап обрушения рассчитывается по формулам (1) и (2)

$$\begin{aligned} h_{cb}''' &= \frac{h_{зас}' - h_{cl}'' (k_p' - 1)}{k_p - 1} = \\ &= \frac{42,6 - 44(1,252 - 1)}{0,6} = 53 \text{ м,} \end{aligned}$$

$$h_{cb}'' = h_{cb}''' + h_{cl}'' = 53 + 44 = 97 \text{ м.}$$

Суммарная высота вторичного обрушения равна согласно (4):

$$h''_{об} = h''_{св} + h'_{зая} = 97 + 43 = 140 \text{ м.}$$

Дальнейшие расчеты поэтапного обрушения выполняются по типовой схеме. Первоначально определяется доуплотнение за счет вторичного обрушения  $h''_{об}$ , находится вторичный зазор  $h''_{зая}$  и производится расчет следующего этапа сводообразования до минимальной величины зазора.

В результате проведенных расчетов высота зоны обрушенных пород при отработке камер второй очереди составит:  $h_{обр.общ} = 520 \text{ м.}$

Мощность слоя налегающей толщи пород будет равна  $H' = 52 \text{ м.}$

И на завершающем этапе производится расчет доуплотнения обрушенной массы пород под действием проседания налегающего слоя нетронутото массива  $H'$  по аналогичной схеме, описанной при отработке камер первой очереди. В данном случае величина нагрузки от проседания плиты будет равна:

$$\begin{aligned} \sigma &= \gamma H' = 2,6 \cdot 52 = 135 \text{ т/м}^2 = \\ &= 13,5 \text{ кг/см}^2, \quad D' = 10,3 \%, \\ \text{где } \gamma &= 2,6 \text{ кг/см}^3. \end{aligned}$$

Находим предельную высоту столба обрушенных пород, где происходит процесс доуплотнения, в результате имеем:  $h_{доп.упл} = 100 \text{ м.}$

По формуле (11) находим среднее уплотнение столба  $h_{доп.упл}$  под действием собственных сил, которое равно  $D = 4,7 \%$ .

В результате среднее доуплотнение столба  $h_{доп.упл}$  будет равно:

$$D'_{ср} = D' - D = 10,3 - 4,7 = 5,6 \%$$

А величина дополнительного проседания налегающей плиты  $H'_{пр}$  равна:

$$H'_{пр} = h_{доп.упл} D'_{ср} = 100 \cdot 0,056 = 5,6 \text{ м.}$$

В итоге суммарное проседание (прогиб) налегающего слоя пород в процессе ведения горных работ первой и второй очереди составит величину:

$$\begin{aligned} H_{пр.общ} &= H_{пр} + H'_{пр} = \\ &= 28,0 + 5,6 = 33,6 \text{ м.} \end{aligned}$$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жеребко Л.Н., Джангулова Г.К., Пивоварова Л.М. Формирование свода обрушений в налегающем массиве представленным слоями различной мощности // Научно-техническое обеспечение горного производства. Труды ИГД им. Д.А. Кунаева. – Алматы, – Т. 75. – 2008. – С. 18–21.

2. Прогноз вероятности техногенных катастроф с позиции геомеханических процессов в массиве горных пород при разработке рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях на больших глубинах // Отчет о НИР. Фонды ИГД им. Д.А. Кунаева. Алматы. – 2008. – 98 с. **ИИЭ**

### Коротко об авторах

Джангулова Г.К. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория горного давления,

Жеребко Л.Н. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория горного давления,

Пивоварова Л.М. – научный сотрудник, лаборатория горного давления, Институт горного дела им. Д.А. Кунаева РГП «ИЦ КГМС РК», igdkpms@mail.ru

