

ладке без остановки предприятия.

Выдача горной массы крутонаклонными конвейерами с выходом на вертикальный ствол. Этот способ является одним из перспективных, так как позволяет транспортировать горную массу на большие высоты при меньших горнокапитальных затратах, чем это предусматривается при ступенчатом подъеме.

В зависимости от устройства лент и прижимных приспособлений крутонаклонные конвейеры способны транспортировать грузы с одного уровня на другой с большим углом наклона вплоть до 90°. Высота транспортирования может достигать 300-500 м. Одной из особенностей проектируемых крутонаклонных конвейеров является надежное стопорение груза и лент в случае обрыва одной из них или отказа тормозов привода.

Однако комбинированные способы выдачи горной массы имеют ряд недостатков. Прежде всего, возникает необходимость в проведении и обслуживании нескольких транспортных работ. Ступенчатый подъем приводит к многократным перегрузкам полезного ископаемого. Спуск и подъем людей, материалов и оборудования при комбинированных способах вскрытия значительно усложняется.

**Выводы.** Описанные способы доставки горной массы на поверхность позволяют сделать определенные выводы: наиболее перспективным способом выдачи горной массы на поверхность является использование комбинированной схемы выдачи горной массы на поверхность.

При этом необходима альтернатива. Нужно тщательно взвешивать все достоинства и недостатки, проанализировать применение того или иного оборудования, учитывать горно-геологические условия залегания полезного ископаемого, учитывать возможности горнодобывающих предприятий и т.д. Применение всех технических решений в комплексе позволит вскрывать залежи до глубин 3000-4000 м при полной рентабельности доставки полезного ископаемого с глубоких горизонтов.

#### *Список литературы*

1. А.Г. Штатов, В.А. Александров, А.И. Мироненко, Г.М. Шаповалова. Выдача горной массы с глубоких горизонтов с использованием ленточных конвейеров в условиях шахты им. Артема. ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». / Разраб. рудн. месторожд. Кривой Рог, КТУ, 2011. - выпуск 94.
2. Справочник. Подземный транспорт шахт и рудников. Под общей редакцией Г.Я.Пейсаховича и И.П. Ремизова. М.: Недра, 1985. - 565 с.
3. Справочник по горнорудному делу. Том III. Подземные работы. Под общей редакцией А.М. Терпигорева. Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу. М.: Недра, 1961. - 808 с.

Рукопись поступила в редакцию 19.01.13

УДК 622.261.27

Н.Ю. ШВАГЕР, д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СВОДОБРАЗНЫХ ОБНАЖЕНИЙ**

Проведен анализ литературных данных по определению устойчивости сводообразных обнажений и методик для расчета параметров свода обрушения.

**Введение.** Исследованиями и промышленными наблюдениями [1,2] установлено, что вокруг выработанного пространства образуется зона, в пределах которой полностью нарушена первоначальная структура массива горных пород, которые впоследствии обрушаются, и зона трещин, распространяющаяся по вертикали от кровли пустоты до границы видимых трещин. На величину указанных зон оказывают влияние большое число факторов, основными из которых являются: глубина разработки, физико-механические свойства руды и вмещающих пород, время отработки и состояние очистного пространства, угол падения залежи. Вопрос определения параметров зон обрушения и трещин в зависимости от вышеприведенных факторов является весьма актуальным.

**Изложение материала и результаты.** Одним из первых теоретических обоснований гипотезы свода явилась работа проф. В. Риттера. Сущность гипотезы заключается в том, что над выработкой образуется свод давлений, воспринимающий на себя вес вышележащей толщи по-

род. Представление о своде допустимо при решении плоской задачи. В остальных случаях следует говорить об образовании над выработанным пространством купола обрушения.

Теория свода проф. М.М. Протодяконова [3] утверждает, что при сравнительно небольших размерах поперечного сечения штольнеобразных выработок величина давления на крепь не зависит от глубины заложения одиночной выработки, так как при этом над выработкой образуется разгружающийся свод, по контуру которого действуют сжимающие усилия. полученная зависимость высоты свода от ширины выработки имеет вид

$$b = \frac{a}{f} \text{ или } \frac{a}{b} = f \quad (1)$$

где  $b$  - высота свода, м;  $a$  - полупролет выработки, м;  $f$  - коэффициент крепости пород.

Зависимость (1) подчиняется закону прямой линии и при постоянстве коэффициента крепости возможно большое число значений пролетов и высоты сводов. Однако, как показали исследования [4] высота свода также зависит от ширины пролета, но подчиняется параболической зависимости

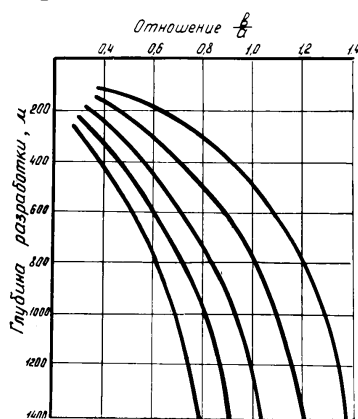
$$\frac{x^2}{2} = fay \quad (2)$$

Высота свода в середине пролета выработки определяется из уравнения

$$h = \frac{a}{2f} \quad (3)$$

где  $x$  и  $y$  - текущие координаты.

Эта гипотеза получила распространение при определении нагрузок на крепь и выборе ее прочностных параметров [3]. Зависимости высоты свода от глубины ведения работ приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Влияние глубины на высоту свода естественного равновесия. Максимальная высота свода и соответствующий ей пролет обнажения, при котором породы свода находятся в равновесном состоянии, определяется

$$h_1 = 0,63d; \quad h_2 = 0,5d; \quad (4)$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{2,96 \cdot \sigma_c \cdot d}{N}}; \quad S_2 = \sqrt{\frac{2\sigma_c \cdot d}{N}};$$

$$\frac{S_2^2}{d} = \frac{2\sigma_{сж}}{N} = const \quad (5)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  - высота свода для I и II категории пород, м;  $d$  - глубина расположения обнажения, м;  $S_1$  и  $S_2$  - пролет выработки для I и II категории пород, м;  $\sigma_{сж}$  - прочность пород на одноосное сжатие, т/м<sup>2</sup>;  $N$  - объемный вес налегающих пород.

Если пролет обнажения превышает значения, определяемые уравнением (5), в этом случае происходит обрушение, которое может сопровождаться мощными ударами, интенсивность которых зависит от объема пустоты и массы обрушающихся пород. Следует отметить, что зависимости (4), (5) получены автором для однородной сплошной массы. Поэтому на практике параметры сводов будут значительно меньше.

Для оценки устойчивости кровли обнажений методами пространственного решения В.Д. Слесарев [5] ввел понятие эквивалентного пролета, который определяется по формуле

$$l = 2 \frac{S}{P} \quad (6)$$

где  $S$  - площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>;  $P$  - периметр обнажения, м.

Дальнейшая интерпретация метода исследователями позволила получить зависимость широко применяемую для определения устойчивых плоских и сводообразных обнажений, м;

$$l = \frac{a \cdot b}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \quad (7)$$

где  $a$  и  $b$  - стороны обнажения, м.

Высота зоны обрушения может быть определена

$$h = \frac{\gamma \cdot l^2}{6 \cdot \sigma_p} \quad (8)$$

$\sigma_p$  - предел прочности пород на расстояние, т/м<sup>2</sup>.

Было установлено, что со временем высота зоны обрушения увеличивается. Поэтому в формулу (8) вводится коэффициент  $K_t$ , который зависит от времени и свойств горных пород

$$h = \frac{\gamma \cdot l^2 \cdot K_t}{6 \cdot \sigma_p} \quad (9)$$

Ориентировочно коэффициент  $K_t$ , зависящий от времени стояния очистного пространства определяется как отношение фактических размеров обрушения в камерах к высоте зоны обрушения, определенный по формуле (8).

Ко второму направлению следует отнести исследования, устанавливающие закономерности в оценке устойчивости сводообразованных обнажений на основании промышленных наблюдений или лабораторных экспериментов. Такие исследования зачастую носят специфический характер, так как они относятся к определенным группам месторождения.

В работе [2] рекомендуется определение высоты обрушения в трещиноватых породах применить метод теории размерности, т.к. процессы, происходящие при обрушении очень сложны и взаимосвязаны.

Высота зоны обрушения определяется

$$h_1 = A \sqrt{\frac{l \cdot n \cdot \gamma \cdot m}{G_m}} \quad \text{при } n \leq 1,5 \cdot l \quad (10)$$

$$h_1 = A \cdot l \sqrt{\frac{\gamma \cdot m}{G_m}} \quad \text{при } n = 1,5 \cdot l \quad (11)$$

где  $A$  - безразмерный коэффициент, зависящий от размера зон обрушения и зон трещин. Устанавливается опытным путем для конкретного месторождения;  $l$  - длина по падению рудной залежи, м;  $n$  - ширина по простиранию, м;  $\gamma$  - объемный вес пород, т/м<sup>3</sup>;  $m$  - мощность рудного тела, м;  $G_m$  - сцепление, м/м<sup>2</sup>.

Существенным недостатком данной методики являются значительные трудности в определении безразмерного коэффициента  $A$ , который должен определяться для горно-геологических условий.

С.В. Ветров [6] определяет параметры сводообразного обнажения, исходя из предположения, что породный массив разбит тектоническими трещинами и сложен из отдельных естественных блоков. Эти исследования характеризуют влияние трещиноватости пород на параметры сводов естественного равновесия и свод рассматривается как параболическая арка толщиной, равной линейному размеру естественного блока, которые в свою очередь будут передавать давление на междукамерные целики, т.е. на пяты свода. В основу данной методики положены теории проф. М.М. Протодяконова и академика Л.Л. Шевякова.

Высота свода естественного равновесия и пролет обнажения в трещиноватых породах будет равен

$$h = a \frac{(a + d_1) \cdot \gamma \cdot H \cdot K}{20d_2 \cdot \sigma_{сж}}; \quad (12)$$

$$L = 4,47d_2 \sqrt{\frac{\sigma_{сж}}{K \cdot h \cdot \gamma}}; \quad (13)$$

где  $L$  - пролет обнажения, м;  $h$  - высота свода естественного равновесия, м;  $a$  - полу-пролет обнажения;  $K$  - коэффициент запаса;  $d_1$  и  $d_2$  - размер естественного структурного блока;  $\sigma_{сж}$  - временное сопротивление горных пород при одноосном сжатии, кг/см<sup>2</sup>.

Размер устойчивого сводообразного обнажения зависит от прочности пород на сжатие, размеров естественных блоков трещиноватого массива и высоты свода естественного равновесия. В виду того, что свод, имеющий форму арки шириной в один естественный блок, воспринимающий на себя нагрузку вышележащих пород, имеются все основания предполагать, что за пределами арки нет зоны повышенных напряжений. Практика исследований закономерностей распределения напряженно-деформированного состояния породного массива от влияния очистной выемки показала, что размеры опорных зон для различных месторождений с различными

горно-геологическими условиями колеблются в довольно значительных пределах и определяются десятками, а иногда сотнями метров.

Одним из важнейших показателей, характеризующих механизм обрушения пород с образованием сводов, является взаимосвязь между высотой свода естественного равновесия  $h$  и пролетом обнажения  $l$ .

По А.А. Борисову максимальная высота свода обрушения для относительно неустойчивых пород

$$h = (0,21 \div 0,30) \cdot l$$

По Н.З. Галаеву для крепких трещиноватых пород высота свода естественного равновесия составляет

$$h = (0,45 \div 0,38) \cdot l$$

По Л.И. Фрею максимальная высота свода обрушения для месторождений с учетом глубины ведения горных работ при пролете  $l=100$  м

$$h_{обр} = 0,4 \cdot l$$

при пролете  $l = 150$  м

$$h_{обр} = 0,6 \cdot l$$

Анализируя представленные выше зависимости, можно с уверенностью сказать, что размеры сводов обрушения зависят от общего напряженно-деформированного состояния массива, горно-геологических особенностей и порядка отработки месторождения. Поэтому, выяснить каким же образом влияют вышеуказанные факторы, является весьма актуальным.

Отсутствие обрушения земной поверхности в зависимости от размера обнажения по простиранию определяется уравнением

$$H' - h \geq \left( 4 - \frac{A}{3n} \right) \quad (14)$$

Зависимость отсутствия обрушения земной поверхности от размера обнажения по падению определяется следующим уравнением

$$(H' - h) \geq \frac{8Nn}{A} \quad (15)$$

где  $H'$  - глубина залегания верхнего контура выработанного пространства до земной поверхности, м;  $h$  - мощность наносов, м;  $A$  - глубина ведения горных работ, м;  $L$  - длина залежи по простиранию, м;  $n$  - горизонтальная проекция пролета выработанного пространства в крест простирания залежи, м;  $N$  - длина залежи по падению, м.

Соотношение рекомендуется использовать при оценке устойчивости слоистой кровли, углах падения залежи свыше  $65^\circ$  и коэффициента крепости пород в пределах 6-10.

Для условий Криворожского бассейна проведены многочисленные исследования по определению устойчивости сводообразных обнажений. Разработана и успешно применяется методика определения устойчивости подработанного массива налегающих пород, базирующаяся на закономерностях, полученных на основании анализа многочисленных производственных данных рудников Кривого Рога, Урала и Сибири. Для оценки устойчивости плоских обнажений использован метод «эквивалентных пролетов». Математическая обработка зависимостей обнажений от формы и размеров показала, что с достаточной для практических целей точностью они описываются гиперболической функцией вида  $l_o^2 \cdot H = const$ , которая косвенно характеризует напряженно-деформированное состояние массива в зависимости от веса налегающей толщи пород.

По полученным данным построены графики зависимости предельных значений сводообразных обнажений в координатах  $f$  и  $l_{экр}^2 / H_3$ , где  $f$  - крепость пород кровли по шкале проф. М.М. Протодяконова;  $H_3$  - глубина верхнего контура обнажения от земной поверхности (рис. 2).

Графически получено две области по признаку устойчивости. Кривая, разделяющая эти области, отражает зависимость предельных значений отношения  $l_{экр}^2 / H_3$  от коэффициента крепости пород. Как видно на рисунке зависимость между предельным эквивалентным пролетом сводообразного обнажения иная, чем для плоских обнажений. Методика определения условий устойчивости сводообразных обнажений по приведенным графикам заключается в следующем.

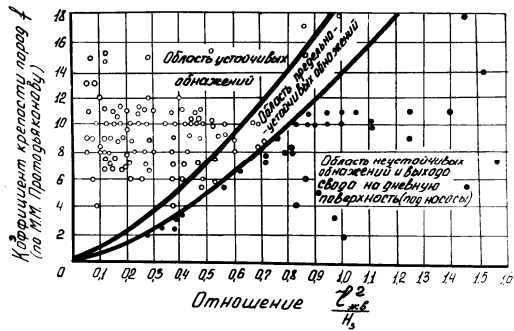


Рис. 2. Условия устойчивости сводообразных обнажений

По известному значению коэффициента крепости пород, отложенному на оси ординат, проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривыми 7-8. Затем из точек пересечения опускают перпендикуляры на ось абсцисс и находят верхнее и нижнее значения предельных отношений  $l_0^2 / H_{cp}$ . После этого их сравнивают с фактическими значениями, вычисленными для конкретной залежи.

В этом случае возможны три соотношения, которым соответствуют следующие состояния налегающей толщи пород:

$(l_{эвк} / H_3)_{факт.} < (l_0 / H_3)_{пред.}$	устойчивое с запасом состояние
$(l_{эвк} / H_3)_{факт.} < (l_0 / H_3)_{пред.}$	устойчивое предельное состояние
$(l_{эвк} / H_3)_{факт.} < (l_0 / H_3)_{пред.}$	неустойчивое состояние налегающих пород.

Наблюдения в производственных условиях показали, что при подсечке блока массив руды обрушается с образованием свода естественного равновесия, причем замечено, что с увеличением глубины ведения горных работ свод получается более вытянутым по вертикали. нормальное развитие процесса самообрушения становится возможным при уменьшении ширины выработанного пространства. Установлено, что до глубин 300 м зависимость между шириной подсечки и высотой свода подчиняется закону прямой линии, а с увеличением глубин, более 300 м, характеризуется кривой второго порядка. Указанный характер взаимосвязи между шириной подсечки и высотой свода естественного равновесия свидетельствует об интенсивном росте ширины подсечки, которое имеет место лишь в начальной стадии процесса, при котором высота самообрушения находится в пределах  $0 + 10 \div 15$  м. При этом ширина подсечки опережает рост высоты самообрушения. Дальнейшее увеличение высоты самообрушения происходит при медленном нарастании ширины подсечки по сравнению с ростом высоты самообрушения. Высота устойчивого свода увеличивается с увеличением глубины разработки. Установленная взаимосвязь между шириной подсечки и высотой свода самообрушения в начальной стадии подтверждаются многочисленными натурными наблюдениями при отработке месторождений системами этажного и подэтажного самообрушения.

**Выводы.** Из анализа литературных данных следует, что в настоящее время нет единых мнений по определению устойчивости сводообразных обнажений и методик для расчета параметров свода обрушения. Одни авторы указывают на уменьшение высоты свода для трещиноватого породного массива с глубиной, в то же время другие утверждают обратное. Обобщение теоретических и практических исследований в оценке устойчивости сводообразных обнажений показывает, что наиболее приемлемым является положение М.М. Протодяконова и В.Д. Слесарева.

*Список литературы*

1. Борисов А.А. Расчет горного давления в лавах пологих пластов. «Недра», М., 1964.
2. Анимов А.Г. К расчету высоты зоны обрушения при разработке слепых рудных залежей. Горный журнал, №5, 1966.
3. Протодяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление. 21. Гостехиздат., М., 1930.
4. Куликов В.В. Совместная и повторная разработка рудных месторождений. Недра, М., 1972, стр.328.
5. Слесарев В.Д. Механика горных пород. Углетехиздат, 1948.
6. Ветров С.В. О параметрах сводов естественного равновесия, пролетах обнажений и устойчивости целиков в трещиноватых горных породах. Со. Физико-технические горные проблемы. Наука, М., 1971, стр.37-48.

Рукопись поступила в редакцию 29.01.13