Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVIII, вып. 1, 1969 г.

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПРОЛЕТОВ НЕЗАКРЕПЛЕННОЙ МЕРЗЛОЙ КРОВЛИ

Ю. В. Шувалов

Характерной особенностью месторождений, расположенных в зоне многолетней мерзлоты, является цементация породных блоков льдом, который заполняет межслоевые трещины и трещины, секущие породные слои, что способствует консолидации слоев и ведет к увеличению несущей способности массива в целом.

Наблюдения за проявлениями горного давления на шахтах Северо-Востока показывают, что поведение мерзлого массива при разработке характеризуется меньшей интенсивностью деформаций и более высокой несущей способностью кровли. Устойчивость обнажений кровли также повышается при понижении температуры в области отрицательных ее значений. Несмотря на довольно широкий диапазон горно-геологических условий, в которых проводились наблюдения за устойчивостью обнажений кровли (на трех угольных месторождениях Северо-Востока), ясно заметна тенденция роста устойчивости кровли при понижении температуры (рис. 1). Основными причинами этого явления следует считать упрочнение связей между отдельными слоями пород, залегающих в кровле пласта, а также некоторое увеличение прочности пород в куске. Упрочнение связей между слоями и отдельностями пород происходит в результате повышения сил смерзания по ледяным прослойкам при понижении температуры. При длительном воздействии нагрузки силы смерзания в 8—10 раз меньше, чем при кратковременном (рис. 2) ее приложении.

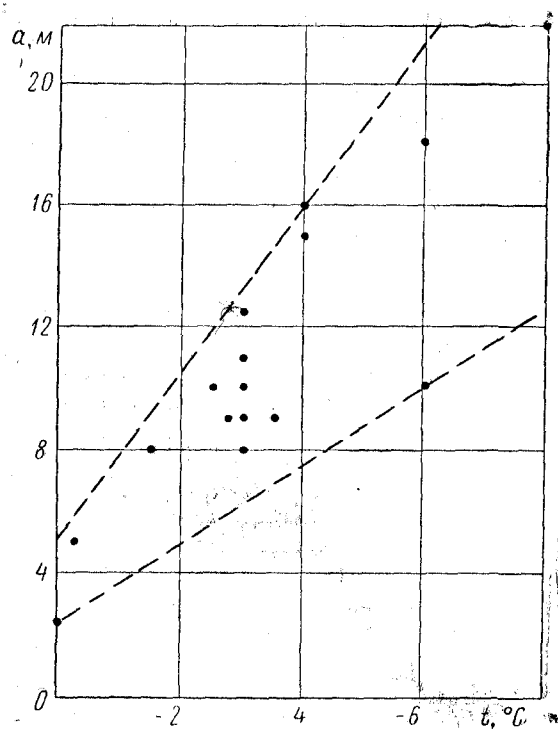


Рис. 1. Зависимость предельных пролетов незакрепленной кровли от температуры

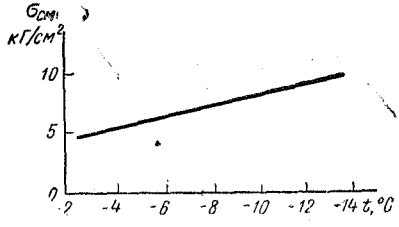


Рис. 2. Зависимость сил смерзания от температуры (*по данным* А. Н. Курочкина)

Наблюдения на шахтах Северо-Востока показали, что при обнажении кровли наблюдается деформация ее без расслоения на довольно значительную глубину (1,0—5,0 *м*). При этом непосредственная кровля в ряде случаев (Сангарское, Джебарики-Хайское месторождения) была представлена тонкослоистыми породами, которые при положительной температуре легко обрушались при незначительных площадях обнажения.

При проведении выработки в массиве происходит перераспределение напряжений. В кровле образуется зона, свободная от сжимающих напряжений. В пределах этой зоны (свода) имеются лишь растягивающие напряжения. Если между породными слоями имеется связь, то расслоение возможно лишь при условии, что действующее растягивающее усилие превышает силы сцепления между слоями. Это условие может быть записано в виде

$$\gamma h_{\text{н}} = \sigma_{\text{см}}; \quad h_{\text{н}} = \frac{\sigma_{\text{см}}}{\gamma}, \tag{1}$$

где $\sigma_{\text{см}}$ — длительное сопротивление разрыву по ледяному прослойку; γ — объемный вес пород.

Лабораторные исследования подтвердили правильность этого предположения.

В условиях многолетней мерзлоты межслоевые трещины не всегда заполнены льдом по всей площади, а в ряде случаев встречается пятнистое распределение льда. Это учтено введением в формулу (1) коэффициента заполнения $K_{\text{з}}$, который может быть определен из геологических наблюдений на шахте. Так, например, по данным геологической службы Джебарики-Хайского месторождения, коэффициент заполнения межслоевых трещин на глубине около 100 *м* равен 0,7. Наблюдениями на шахтах Северо-Востока установлено, что с глубиной площадь заполнения льдом межслоевых и секущих трещин уменьшается. С учетом вышеизложенного выражение (1) принимает вид

$$h_{\text{н}} = \frac{\sigma_{\text{см}} K_{\text{з}}}{\gamma}. \tag{2}$$

Отслоившаяся пачка смерзшихся породных слоев обладает несущей способностью, превышающей несущую способность отдельных слагающих ее слоев в случае, если не произойдет их разделения. Это условие и является определяющим при расчете предельного пролета незакрепленной слоистой кровли

с учётом небольших сил сцепления по ледяным прослойкам (0,5—4 *кГ/см*²). Предел прочности сдвигу льда находится примерно в этих же пределах [Войтковский, 1960].

Таким образом, расчет предельных полетов незакрепленной мерзлой слоистой кровли сводится к определению максимальных касательных напряжений в слоистой плите $\tau_п$ при выполнении условия

$$\tau_п \leqslant |\tau|. \tag{3}$$

Касательные напряжения рассчитываются по известной формуле

$$\tau = \frac{QS_z}{b_z J_y}, \tag{4}$$

где Q — поперечная сила в данном сечении; b_z — размер сечения на уровне рассчитываемой точки; J_y — момент инерции сечения относительно нейтральной оси; S_z — статический момент части площади поперечного сечения.

Максимальные перерезывающие силы на опорах определяются [Бубнов, 1953] выражением

$$Q = kqa, \tag{5}$$

где q — интенсивность внешней нагрузки; a — сторона пластины; k — коэффициент, имеющий размерность длины.

Коэффициент k зависит от соотношения сторон пластины b/a и, по И. Г. Бубнову, составляет:

b/a	1	1,25	1,5	1,75	2,0	∞
k	0,44	0,5	0,515	0,52	0,52	0,5

Таким образом, выражение (4) для случая прямоугольной балки, выделенной из пластины, имеет вид

$$\tau_z = \frac{6kqa}{1 \cdot \delta^3}\left(\frac{\delta^2}{4} - z^2\right), \tag{6}$$

где τ_z — касательные напряжения на расстоянии z от нейтральной оси; δ — толщина пластины.

Отсюда предельный пролет незакрепленной кровли

$$a = \frac{[\tau]\, h_н^3 \cdot 1}{[6kq\left(\frac{h_н^2}{4} - z^2\right)}. \tag{7}$$

Интенсивность внешней нагрузки q для рассматриваемого случая может быть определена, как вес отслоившейся пачки слоев мощностью $h_н$, приходящийся на единицу площади:

$$q = h_н \gamma \cdot 1 \cdot 1. \qquad (8)$$

Предел длительной прочности сдвигу по ледяному прослойку $|\tau|$ определен К. Ф. Войтковским [1960] и является функцией температуры. Для угольных шахт Северо-Востока при незакрепленной мерзлой кровле характерны следующие показатели при различных температурах пород:

	−8° С	−3° С	−1° С
Предел длительной прочности сдвигу по ледяному прослойку $\|\tau\|$, $кГ/м^2$ . .	25 000—35 000	15 000—20 000	6000—10 000
Объемный вес пород непосредственной кровли γ, $кг/м^3$	2500	2500	2500
Коэффициент заполнения льдом межслойных трещин $K_з$	0,5—0,7	0,5—0,7	0,5—0,7
Мощность отслаивающейся пачки слоев $h_н$*, $м$ . .	5,0—10,0	3,0—5,5	1,2—2,8
k, $м$	0,5	0,5	0,5
Интенсивность внешней нагрузки q, $кГ/м^2$	12 500—25 000	7500—13 750	3000—7000
Предельный пролет, $м$:			
расчетный a	13,3—22,2	8—10,8	3,2—5,6
фактический $a_{факт}$ . .	13—30	8—13	4—6

* По формуле (2).

Как видно из приведенных данных, ориентировочные расчеты достаточно близки к фактическим показателям. Таким образом, предлагаемый метод определения незакрепленной слоистой кровли вполне приемлем для практических целей.

ЛИТЕРАТУРА

Бубнов И. Г. Труды по теории пластин. Гостехнтеоретиздат, 1953.
Войтковский К. Ф. Механические свойства льда. АН СССР, 1960.